И. В. Довгаль

Эти *непростые* ПРОСТЕЙШИЕ

Видавнича група ОСНОВА

И. В. Довгаль

Эти *непростые* ПРОСТЕЙШИЕ

Харьков
Издательская группа «Основа»
2009

УДК 593.1:578.4
ББК 28.6+20.1
Д58

Рекомендовано к печати Ученым советом Института зоологии им. И. И. Шмальгаузена НАН Украины (протокол № 4 от 18.03.2008 г.)

Рецензенты:
Анистратенко Виталий Вячеславович, д.б.н., Институт зоологии им. И. И. Шмальгаузена НАН Украины, Киев, Украина;
Корнилова Ольга Анатольевна, д.б.н. Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия

Книга напечатана при финансовой поддержке Государственного фонда фундаментальных исследований Украины

Довгаль И. В.
Д58 Эти непростые простейшие. — Х.: Изд. группа «Основа», 2009. — 92, [4] с.: ил.
ISBN 978-617-00-0403-1.

В книге в популярной форме рассказывается об истории открытия простейших, разнообразии протистов, их роли в природе и значении для человека. Особое внимание уделено подробностям строения и образа жизни обыкновенной амебы, эвглены зеленой, инфузории-туфельки, малярийного плазмодия и их многочисленных «родственников». Отдельные главы посвящены истории становления систематики простейших и современным проблемам их изучения. Завершается книга списком литературы о простейших и словарем терминов.

Книга адресована всем, кто интересуется живой природой, биологией и экологией, также она может быть полезна в качестве популярного учебного пособия для учителей и учеников средних школ, преподавателей и студентов высших учебных заведений.

УДК 593.1:578.4
ББК 28.6+20.1

ISBN 978-617-00-0403-1

© Довгаль И. В., 2009
© ООО «Издательская группа “Основа”», 2009

ПРЕДИСЛОВИЕ АВТОРА

Я до такой степени мало разбирался
в вопросах зоологии, что ничего не понял.
— Вы хоть бы перевели мне это на
человеческий язык! — жалобно взмолился
я, обращаясь к своему коллеге.
— Да это и есть перевод!
А. Конан-Дойль. Затерянный мир

На полках любого книжного магазина или книжного рынка можно увидеть большое количество разнообразных иллюстрированных энциклопедий животных. Пожалуй, это наиболее покупаемая сейчас научно-популярная литература. Но, просмотрев на выбор несколько таких томов, автор, увы, не обнаружил ничего, или почти ничего, об одноклеточных организмах — простейших, таких как амебы, инфузории, жгутиковые. Очень мало сведений на этот счет можно получить и из школьных учебников. Современной науке известно около 200 тыс. видов простейших, но большинство читателей, наверное, смутно припоминает лишь инфузорию-туфельку, причем благодаря запоминающемуся названию и удачной, хотя и очень старой, картинке, которая уже более ста лет воспроизводится в учебниках зоологии.

Конечно, сейчас есть такой источник информации, как Интернет. Но из примерно 200 тыс. ссылок, которые в Google высвечиваются при наборе слова «простейшие», и примерно 5 тыс. ссылок при наборе слова «протисты» очень трудно выбрать те, которые содержат современную информацию, к тому же изложенную простым языком. Как убедился автор, в большинстве случаев источниками информации служат все те же устаревшие учебники, или даже написанная в XIX веке А. Брэмом «Жизнь животных».

Но за сто с лишним лет наши представления о простейших коренным образом изменились благодаря применению новых методов — электронной микроскопии, молекулярной генетики. Новые данные, часто парадоксальные, поступают настолько интенсивно, что даже профессионалы порой не успевают следить за происходящими изменениями в систематике, представлениях об

историческом развитии, физиологии и экологии простейших. Тем более у них не доходят руки до написания научно-популярной литературы.

Популярными книгами о простейших ученые не баловали и раньше. Можно назвать очень немногие такие издания. Первую популярную книгу об этих организмах, «Царство протистов» («Das Protistenreich»), опубликовал в 1878 году великий Э. Геккель, но сейчас она представляет только исторический интерес. К современным изданиям можно отнести книгу профессора Льва Николаевича Серавина «Простейшие, что это такое» и первый том шеститомника «Жизнь животных», где раздел о простейших написал профессор Юрий Иванович Полянский. Менее известна русскоязычному читателю книга англичанина Генри Сэндона «Эссе о протозоологии» («Essays on protozoology»). Но и эти книги написаны в 60-е или 80-е годы XX века.

Объяснить такую ситуацию можно еще и тем, что чрезвычайно трудно писать популярно об организмах, которых большинство читателей в глаза не видели. Авторы лучших книг о животных достигают успеха, находя у своих героев черты или особенности поведения, сходные с таковыми у человека. Это всегда наглядно и забавно. Но попробуйте проделать нечто подобное в отношении одноклеточных организмов! К тому же мало у кого из читателей под рукой имеется микроскоп, и в зоопарк посмотреть одноклеточных тоже не сходишь.

Другой испытанный способ — писать не об организмах, а об ученых. Прекрасный пример — книга Поля де Крюи «Охотники за микробами». Но при этом сами объекты «охоты» остаются мало известными читателю.

Остается «переводить» научные книжки на «человеческий язык», пытаясь при этом использовать разные приемы, писать и о протистах, и об ученых, которые с ними работали. Надо признать, что автор брался за такой «перевод» не без опаски, так как велика вероятность того, что результат будет как в эпиграфе, с которого начинается эта книга.

Перечисленные выше книги, в большинстве, были написаны в то время, когда одноклеточные организмы действительно считались наиболее «простыми». Сейчас понятно, что авторы термина «простейшие» в свое время несколько погорячились. Современные специалисты знают, что, если рассматривать строение отдельных клеток (т. е., говоря более научно, клеточный уровень организации), то у простейших оно намного сложнее, чем у многоклеточных животных и растений. За сотни миллионов лет эволюции простейшие

выработали способность к довольно сложным физиологическим реакциям, «научились» по-своему общаться, меняться в зависимости от ситуации, двигаться всеми возможными для одной клетки способами и многому другому. Часть из этого наследства перешла к потомкам простейших — многоклеточным животным и растениям, а часть была этими потомками утрачена.

Поскольку необходимость в научно-популярной литературе на эту тему есть, автор, проработав много лет в области протистологии (науки, изучающей простейших, или, как их еще называют, протистов), решил попытаться как-то заполнить образовавшийся пробел в литературе о природе.

Еще один вопрос, который автору предстояло решить, приступая к данной книге,— писать что-то совсем упрощенное или все-таки сделать своеобразный популярный вариант учебного пособия? Конечно, первый вариант больше соответствует нынешнему уровню подготовки выпускников, в частности, украинских школ, и еще больше — уровню многих журналистов, в том числе берущихся писать о природе. Но тогда в книге мало что останется, кроме сведений, уже изложенных в школьных учебниках. К тому же это уже сделал, и очень удачно, Сергей Афонькин, который написал детскую сказку «Приключения в капле воды».

Кроме того, хочется надеяться, что положение не совсем безнадежно, и столь естественный для людей молодых и пытливых интерес к биологии уничтожен не повсеместно. Поэтому в книгу включены достаточно сложные темы, которые потребуют вдумчивого чтения, а может, и поиска дополнительной литературы. При этом оказалось, что невозможно избежать использования специальных терминов. Автор попытался дать им относительно простые определения, рискуя при этом быть обвиненным коллегами в некорректности. Значение многих непонятных слов можно найти в словаре терминов, расположенном в конце книги.

В принципе, эту книгу не обязательно читать с начала и до конца. Можно выбрать то, что интереснее и понятнее, а за подробностями, при необходимости, обратиться, вернувшись к соответствующим главам.

Безусловно, объединить в одной книге весь огромный массив сведений о простейших, который к настоящему времени накоплен наукой, невозможно. Протисты необычайно разнообразны и внешне, и по своему образу жизни. Нечего и пытаться уместить в один удобоваримый том хотя бы «самое интересное» о них. Поэтому, пытаясь «помочь образованию», автор особое внимание уделил тем видам простейших, которые включены в школьные учебники.

Им посвящена отдельная глава книги. Кроме того, одна из задач этой книги — показать роль простейших в природе, значение их для человека. Наконец, название книги тоже надо было как-то оправдать.

Несомненно, осилить в одиночку подбор необходимой информации, особенно иллюстраций, автор бы не смог. Почти невозможно и объективно оценивать собственные тексты. Поэтому автор выражает глубокую признательность всем тем, кому эта книга во многом обязана своими достоинствами. Что касается недостатков, то здесь всю ответственность автор берет на себя.

Особую признательность хочу выразить лицам, предоставившим автору оригинальные фото и иллюстрации: профессору Чжуй Ченг (Китай), Людмиле Константиненко, Оксане Алпатовой (Житомир, Украина), Людмиле Гапоновой (Сумы, Украина), Владимиру Гриневу (Карадагский заповедник, Украина), студентке Национального медицинского университета Анастасии Волгиной (Киев, Украина) за схему строения клетки протистов. Автор также признателен друзьям и коллегам, взявшим на себя труд ознакомиться с еще сырой рукописью и сделавшим ценные замечания: Александру Раилкину (Санкт-Петербург, Россия), Сергею Леонову (Симферополь, Украина), Елене Бошко, Александру Протасову, Виталию Харченко, Роберту Варговичу, Ярославе Межжериной (Киев, Украина), моей жене и коллеге Оксане Головченко, дочери Полине, а также киевскому школьнику Роману Нейтеру, которого следует дополнительно поблагодарить за сбор эвглен, амеб и инфузорий, «портреты» которых иллюстрируют эту книгу. Большую помощь в переводе латинских текстов автору оказала студентка Киевского национального университета им. Т. Шевченко Галина Воскобойник. Особая благодарность рецензентам этой книги, докторам биологических наук Ольге Анатольевне Корниловой (Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия) и Виталию Вячеславовичу Анистратенко (Институт зоологии им. И. И. Шмальгаузена НАН Украины, Киев, Украина).

Глава 1

СКВОЗЬ ВОЛШЕБНЫЙ ПРИБОР ЛЕВЕНГУКА...

Сквозь волшебный прибор Левенгука
На поверхности капли воды
Обнаружила наша наука
Удивительной жизни следы.

Государство смертей и рождений,
Нескончаемой цепи звено,—
В этом мире чудесных творений
Сколь ничтожно и мелко оно!
Н. Заболоцкий

Что же это был за волшебный прибор, о котором идет речь в замечательном стихотворении Николая Заболоцкого? Казалось бы, в общих чертах об открытии Антони ван Левенгуком «анималькулей» всем известно. Но то, что именно в общих чертах, ясно хотя бы из того, что во многих книгах (в том числе учебниках) Левенгука называют изобретателем микроскопа.

Микроскопа Левенгук не изобретал. В качестве изобретателей микроскопа чаще всего упоминаются голландские оптики братья Янсен, сделавшие микроскоп с окуляром и объективом около 1590 г.

Не был Левенгук и первым микроскопистом. Еще до него датчанин Ян Сваннерман с помощью микроскопа открыл эритроциты крови, англичанин Неемия Грю — пыльцу растений, а итальянец Марчелло Мальпиги — капилляры в легких лягушки. Историческое открытие клеток растений Робертом Гуком также произошло раньше (в 1665 году), чем свои труды опубликовал Левенгук.

Антони ван Левенгук родился значительно позже изобретения микроскопа — в 1632 году в городе Делфт (Голландия). Его родители занимались весьма почтенным делом — плетением корзин и пивоварением. Сам Левенгук, вопреки легендам, был человеком отнюдь не малограмотным, так как до шестнадцати лет учился в школе, где получил неплохое по тем временам образование.

Портрет Антони Ван Левенгука (из книги П. Хааксмана «Antony van Leeuwenhoek, de ontdekker der infusorien, 1675–1875» — «Антони ван Левенгук — первооткрыватель инфузорий, 1675–1875»)

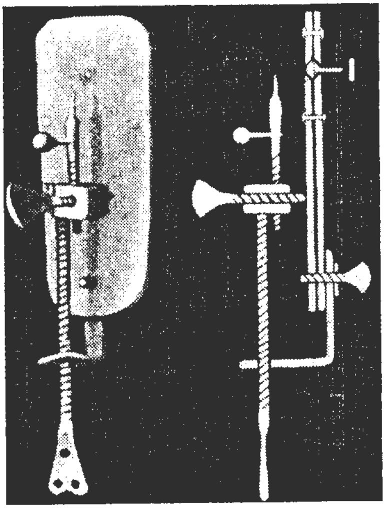
В возрасте 21 года он женился и открыл собственную мануфактурную торговлю. Но было у него то, что сейчас называется «хобби»,— он увлекался шлифовкой линз и разглядыванием через них мелких предметов.

Левенгук наверняка знал о существовании приборов конструкции Янсенов, так как был знаком с членом-корреспондентом британского Королевского общества Ренье де Граафом, который жил в Делфте и изучал с помощью микроскопа тонкое строение семенников и яичников животных. Но Левенгука не устраивало крайне плохое качество изображения, которое, особенно при больших увеличениях, давали несовершенные микроскопы того времени.

Поэтому Антони придумал собственную технологию. Он плавил на огне стеклянные палочки таким образом, чтобы капли расплавленного стекла падали в воду. В результате получались закаленные однородные стеклянные шарики, которые после тщательной шлифовки превращались в качественные линзы с минимальным радиусом около 0,7 мм, толщиной 1,22 мм, фокусным расстоянием 0,94 мм и максимальным увеличением в 266 раз. Эти крошечные линзы оправлялись в пластины из меди, серебра или золота. К пластине прикреплялся винт с иглой на конце, который выполнял роль препаратоводителя,— с его помощью насаженный на иглу предмет можно было двигать взад-вперед. С помощью другого винта, перпендикулярного плоскости пластины, можно было отодвигать или придвигать кончик иглы к линзе, добиваясь, таким образом, резкого изображения. Сама игла тоже была гибкой, и, изгибая ее в разных направлениях, можно было производить еще более тонкую наводку. Это аналоги макро- и микровинта современных микроскопов.

Левенгук, будучи человеком очень любознательным, рассматривал самые разные объекты — мышечные волокна, волосы, шерстинки животных, семена растений, паразитических насекомых — блох

и вшей. Особенно увлекся он естествознанием и микроскопией после прочтения книги Роберта Гука «Микрография», опубликованной в 1665 году.



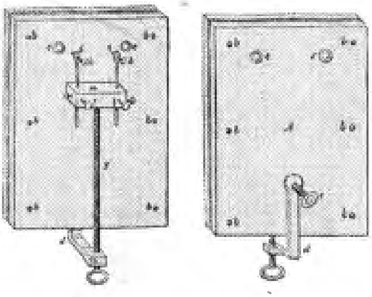
Один из «мелкоскопов» Левенгука

Все свои наблюдения он аккуратно записывал, зарисовывал, но только в 1673 году, по инициативе и при посредничестве Ренье де Граафа, начал отсылать в британское Королевское общество результаты своих наблюдений. Думается, даже если бы не было открытия простейших, Антони ван Левенгук все равно был бы довольно известен, так как он, независимо от Сваннермана, открыл кровяные клетки (эритроциты) человека, а также амфибий и рыб, движение крови в капиллярах, сперматозоиды человека, собаки и других животных, изучил строение фасеточного глаза насекомых и многое другое.

Но однажды он придумал насаживать на кончик иглы не предмет, а тонкий стеклянный капилляр с жидкостью. А для того чтобы лучше видеть, что в нем, ставил между своим «микроскопом» и лампой хрустальный шар с водой — такой же, какой использовали для улучшения освещения голландские кружевницы. Так он изобрел конденсор.

Позднее Левенгук начал помещать между таким шаром и микроскопом плотный экран с маленьким отверстием, через которое проходил только тоненький лучик света, который, в свою очередь, пропускался через капилляр. В результате все, что плавало в жидкости внутри капилляра, светилось на темном фоне. Так Левенгук использовал на практике эффект, благодаря которому, например, в солнечном луче видны светящиеся пылинки, неразличимые простым глазом, т. е. изобрел метод темного поля, который применяется в микроскопии и сейчас.

Неизвестно, почему Антони пришло в голову набрать в капилляр и рассмотреть отстоянную дождевую воду из глиняного горшка, но именно там он впервые обнаружил крошечных существ, которые были в десятки раз мельче самых маленьких, известных до того. Левенгук назвал их «анималькули», т. е. «зверюшки» (с лат.), и начал искать их везде, где это только возможно.



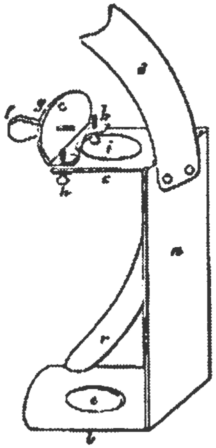
Двухлинзовый «мелкоскоп» Левенгука. С его помощью можно было рассматривать сразу два объекта или зрительно совмещать изображения двух сходных объектов. Сейчас такие сравнительные микроскопы тоже используются, особенно в криминалистике (из книги П. Хааксмана «Antony van Leeuwenhoek, de ontdekker der infusorien, 1675–1875»).

Однажды он решил получить ответ еще на один вопрос, почему-то мучавший его: почему перец жжется? Антони предположил, что в перце находятся невидимые простым глазом иголочки или крючочки, которые раздражают язык и вызывают жжение. Чтобы проверить это, он поместил в сосуд с водой плод перца и оставил его стоять, пока тот не разложится, чтобы иголочки попали в воду и их можно было затянуть в капилляр и рассмотреть. Однако, вместо «крючочков» он обнаружил в настое перца огромное количество «анималькулей» — гораздо большее, чем где бы то ни было. Так Левенгук изобрел лабораторное культивирование открытых им организмов — чрезвычайно удобный способ их обнаружения и изучения. При этом Антони еще и экспериментально доказал, что «анималькули» размножаются в настое.

Надо сказать, что на протяжении почти 200 лет после работ Левенгука метод изучения «анималькулей» в настоях был чуть ли не единственным. Отсюда и другое название «анималькулей» — «инфузории» (с лат. *infusum* — настойка), т. е. животные настоя, или, как писали по-русски, «наливочные животные». Кстати, к «инфузориям» еще в начале и середине XIX века относили всех организмов, обнаруженных в настое, в том числе многоклеточных — коловраток, мелких червей — нематод и олигохет и т. п. Только во второй половине XIX века это название стали относить к представителям одной группы — ресничным простейшим, или цилиатам.

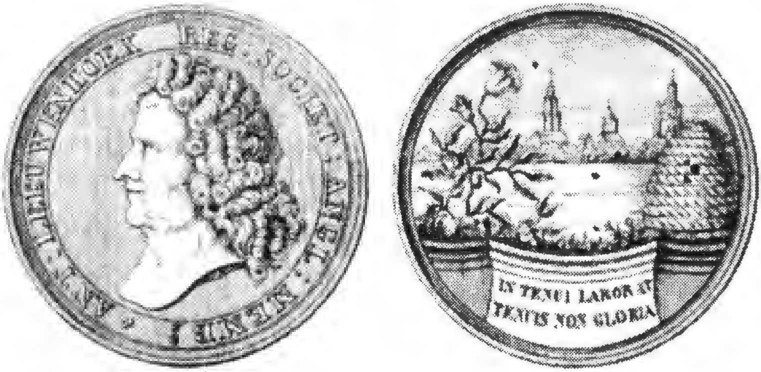
Начиная с 1673 г. и до своей смерти (а он прожил 91 год) Левенгук отослал в Королевское общество более 100 писем с собственными наблюдениями, где он описал десятки различных простейших и даже бактерий. Некоторые из его описаний и рисунков и сейчас позволяют определить организмы до рода или вида. Он же первым обнаружил у простейших органеллы движения — реснички и жгутики, которые он называл «разнообразными, невероятно тонкими ножками».

Кроме того, он непрерывно совершенствовал свои приборы. Например, сделал микроскоп с двумя линзами, который позволял рассматривать сразу два объекта и, вероятно, зрительно совмещать их изображения, что позволяло сравнивать похожие объекты. Также Левенгук сделал специальный микроскоп, с помощью которого рассматривал как простейших, так и довольно крупных многоклеточных животных, обитающих в воде, таких как черви-нематоды. С его же помощью Антони изучал кровь человека и животных. У этого микроскопа имелся специальный держатель для цилиндра с жидкостью или пробирки. Таким образом, в отличие от прибора братьев Янсен, который в то время чаще служил для развлечения и только эпизодически применялся учеными, микроскопы Левенгука (или, как тогда говорили, «мелкоскопы») были устройствами, предназначенными для серьезных систематических научных исследований.



«Мелкоскоп» Левенгука с держателем для стеклянного цилиндра или пробирки. Цилиндр вставлялся в отверстия и закреплялся с помощью двух широких пружин (*r* и *d*). Собственно линза вмонтирована в вертикальную пластину (*g*), а наводка на резкость осуществлялась с помощью винта (*f*) (из книги П. Хааксмана «Antony van Leeuwenhoek, de ontdekker der infusorien, 1675–1875»)

Надо сказать, что именно после открытия «анималькулей» Антони ван Левенгук по-настоящему прославился. После проверки его исследований комиссией во главе с Неемией Грю, которая специально приезжала в Делфт, он в 1680 году был избран действительным членом Королевского общества (т. е. стал академиком). Позднее он стал членом и Французской академии наук. Его дом в Делфте считали своим долгом посетить выдающиеся ученые и даже монархи из разных стран. Так, известно, что во время своего пребывания в Голландии Левенгука навещал Петр Первый, который даже приобрел у него несколько «мелкоскопов». Интересно, как Петру удалось это сделать, так как Антони обычно категорически отказывался дарить или продавать свои лупы кому бы то ни было.



Медаль, отчеканенная в честь Левенгука в Голландии в 1716 году. На лицевой стороне (аверсе) — барельеф Левенгука и надпись «Антони ван Левенгук — действительный член Британского королевского общества». На оборотной стороне (реверсе), на заднем плане — родной город академика Делфт, на переднем плане — пчелиный улей (как символ трудолюбия) и цитата из Вергилия: «Невелик труд, но немалая слава» (из книги П. Хааксмана «Antony van Leeuwenhoek, de ontdekker der infusorien, 1675–1875»)

Во всяком случае, именно с истории об Антони ван Левенгуке начинаются почти все рассказы об удивительных существах, именуемых простейшие, или протисты.

Глава 2

ПРОСТЕЙШИЕ — «ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ МИР»

Вы, конечно, видали увеличительное стекло — круглое, выпуклое, через которое все вещи кажутся во сто раз больше, чем они на самом деле? Если через него поглядеть на каплю воды, взятую где-нибудь из пруда, то увидишь целые тысячи диковинных зверушек, которых вообще никогда не видно в воде, хотя они там, конечно, есть.

Г. Х. Андерсен. Капля воды. 1847 г.

Простейшие — это очень мелкие одноклеточные организмы, диапазон их размеров — от микрометра (1 микрометр = 0,000001 метра) до нескольких сантиметров. Но большинство этих организмов не превышает размером 100 микрометров (или, как раньше писали, микрон), т. е. одной десятой миллиметра. Поэтому те, кто о них пишет, очень часто помещают целый мир в «каплю воды».

Автору неизвестно, сколько времени существует этот художественный образ, но, похоже, уже порядка двухсот лет именно способность протистов обитать в минимальном объеме воды считается их характерной чертой. Мир простейших в иллюстрациях к популярным книгам и учебникам издавна помещают в каплю или в кружочек, изображающий поле зрения микроскопа. Сказка Андерсена о простейших называется «Капля воды», а сказочная повесть Сергея Афонькина — «Приключения в капле воды», в стихотворении Н. Заболоцкого «удивительной жизни следы» тоже обнаружены «на поверхности капли воды». Хотя, конечно, «тысячи диковинных зверушек» можно увидеть не во всякой капле, а только в капле «левенгуковского» настоя, т. е. в культуре, созданной искусственно. В естественных условиях простейшие размещаются вовсе не так плотно, как это кажется.

Например, утверждение, что в богатой органикой почве каждый кубический сантиметр содержит миллион или более простейших, обычно производит сильное впечатление. Можно подумать,

что протисты должны быть там упакованы так плотно, как шпроты в банке. Однако, по расчетам Г. Сэндона, это не совсем так. Если принять, что каждая клетка простейших имеет приблизительный объем равный сфере диаметром в 10 микрометров, то миллион протистов займет всего около двух тысячных кубического сантиметра. То есть тесноты в почве простейшие явно не испытывают.

Несмотря на это, образ «капли воды» действительно очень удачен, так как простейшим для обитания необходима вода хотя бы в виде пленки влаги на поверхности частиц почвы, камнях или мхах. Даже в больших водоемах, таких как крупные озера или моря, протисты не распределены случайным образом, а скапливаются в наиболее пригодных для тех или иных видов местообитаниях, которые в научной литературе называют микробиотопами или микроаквариумами, и размеры этих местообитаний часто действительно соизмеримы с тем, что мы называем каплей.

Как пишет Г. Сэндон, если многоклеточные животные обитают в мире, диапазон размеров и времени в котором нам знаком и привычен, то в «мире» простейших эти размерности подвержены изменениям, как в кэрролловском Зазеркалье.

Современные фантасты вместо Зазеркалья используют образ параллельного мира. Действительно, простейшие с их микроскопическими размерами существуют в другом масштабе измерений, как бы параллельно нашему привычному миру, и большинство людей даже не догадываются о том, насколько этот мир сложен и важен для нас, людей. Да и, как мы только что убедились, знает человечество о существовании этого мира всего триста с небольшим лет.

Существует множество местообитаний, подобных микроаквариумам в почве или толще песка в водоемах, которые могут занимать только мелкие одноклеточные организмы — простейшие и бактерии. Вероятно, именно поэтому они и существуют на Земле одновременно с более совершенными, но и более крупными многоклеточными, которым в «капле воды» было бы тесновато.

Простейшие занимают все пригодные микробиотопы, встречаясь в них в значительных количествах. Соответственно и роль простейших в общем круговороте веществ и энергии в биосфере должна быть существенной. Но какова эта роль?

Надо сказать, что человеку свойственен антропоцентризм. Все, что его окружает, он, в первую очередь, примеряет «на себя». Отсюда и вопрос, часто задаваемый людьми, далекими от биологии: «Зачем они нужны, эти простейшие?», имея в виду, в первую очередь, зачем они нужны нам, людям. И ответ на этот вопрос следует искать в таком разделе протистологии как экология простейших.

Протисты являются обязательным и важным компонентом любой экосистемы или биоценоза. При этом для каждой экосистемы имеется свой набор видов, которые выполняют здесь свои функции. Соответственно, существуют разные экологические группы протистов со своей ролью в сообществах.

По нашему опыту, лучше всего начинать ознакомление с «параллельным миром» протистов с паразитических простейших. Это позволяет если не объяснить, зачем «нужны» простейшие, то, по крайней мере, делает понятным, зачем их нужно изучать.

Паразитизм широко распространен среди простейших. Почти во всех типах этих организмов представлены паразитические формы, а есть большие группы, насчитывающие тысячи видов, куда входят исключительно паразитические виды. Из 200 тысяч известных видов простейших более 20 тысяч — паразиты. Микроскопические размеры протистов позволяют им найти подходящие для жизни условия не только в клетках, тканях или полости тела многоклеточных, но и внутри клеток других простейших. Известны случаи гиперпаразитизма среди простейших, когда в клетках одних видов паразитов обитают другие виды. Успешному заселению все новых хозяев способствуют также быстрые темпы размножения протистов.

Наиболее массовым заболеванием, которое вызывают простейшие, является малярия. До сих пор от нее на планете ежегодно гибнет от полумиллиона до двух миллионов человек. Но в среде «небиологов» и малярийного плазмодия, и многих других простейших в первую очередь относят к тем самым коварным «микробам», которые причиняют нам всяческие неприятности. На самом деле «микробы» в нашем понимании — это прокариотные организмы, т. е. бактерии, которые не имеют ядра и многих других известных нам клеточных органелл. Простейшие же — эукариоты (как и мы с вами), то есть их клетка делится таким же образом, как клетки нашего организма (митотически), и имеет оформленное ядро. И, хотя среди простейших есть возбудители опасных заболеваний человека и животных (сонная болезнь, лейшманиозы, амебная дизентерия, болезнь Чагаса, эймериоз, токсоплазмоз, трихомонадоз и многие другие), болезнями мы все-таки в большей степени «обязаны» вирусам и бактериям.

Не все обитатели организмов других животных или растений являются зловредными паразитами. Есть и такие симбионты, которые безразличны для хозяина. Так, в организме человека обитают около 20 видов безвредных протистов. Правда, в связи с проблемой иммунодефицита человека, особенно острой при заболевании

СПИДом, такие простейшие тоже начали вызывать интерес у медиков. Дело в том, что когда иммунная система человека ослаблена или совсем не работает, развитие таких «безразличных» сожителей перестает ограничиваться и они начинают вызывать заболевания, часто «имитирующие» другие болезни, например, пневмонию или кишечные расстройства. Поэтому проблема СПИДа — это в значительной мере проблема таких инфекций, именуемых оппортунистическими.

Некоторые из простейших вовсе не вредят своим хозяевам, а наоборот, являются полезными симбионтами, или мутуалистами (от слова *mutual* — взаимный, совместный).

Так, все инфузории являются гетеротрофными организмами, но есть виды, в клетках которых постоянно обитают автотрофные сожители. Клеточное тело одного из видов инфузорий — трубачей, или стенторов, имеет зеленый цвет за счет наличия в нем автотрофных жгутиконосцев, а видовое название морской инфузории *Myrionecta rubra* (*rubra* — красная) связано с окраской, которую эта инфузория приобрела за счет наличия симбионтных жгутиконосцев.

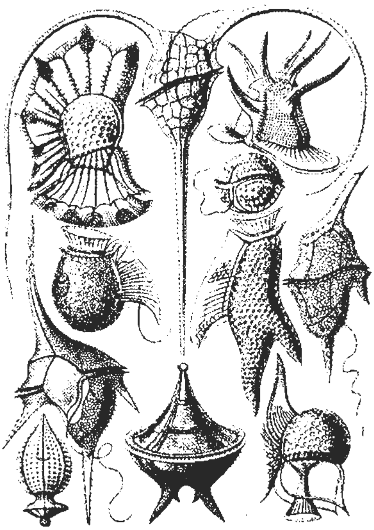
Есть свои сожители и у коралловых полипов. Видимо, поэтому и распространены коралловые рифы (создающие самую продуктивную морскую экосистему) на небольших глубинах, т. е. там, куда проникает достаточно света для простейших-автотрофов, живущих в организмах кораллов.

Большой интерес вызывают также простейшие, которые обитают в пищеварительной системе многоклеточных животных.

Больше известны обитатели желудка и кишечника копытных. Количество инфузорий в организме этих травоядных животных огромно — на 1 г содержимого рубца быка их число достигает миллиона. А в организме одного животного может насчитываться до 90 видов инфузорий.

При этом разные виды инфузорий выполняют разную роль в пищеварительном тракте. Среди них есть паразиты других инфузорий, хищники, но большинство питается бактериями, непереваренными растительными волокнами из пищи копытных и крахмальными зернами. Таким образом, в организме хозяев формируется своеобразный биоценоз со сложным связями между организмами — его компонентами.

Инфузории, «поедающие» растительные волокна, имеют ферменты, которые расщепляют целлюлозу. Этим инфузории помогают своим хозяевам переваривать растительную пищу, в чем ученые раньше в основном и видели их положительную роль для травоядных млекопитающих.



Панцирные жгутиконосцы (динофлагеллаты). Рисунок из альбома Э. Геккеля «Красота форм в природе»

Важна и роль инфузорий, которые перерабатывают крахмал из растительных клеток. Жители тропических стран, где много бананов и маниока (кассавы), стараются не кормить жвачных домашних животных (коров, овец) этими растениями. Не делают этого потому, что животные в результате болеют, у них от накопившихся газов раздуваются желудки, возможны даже разрывы. А причина в том, что в клетках банана и маниока очень крупные крахмальные зерна, с которыми инфузории справиться не могут. Кроме этих простейших потребителями крахмала являются бактерии, также обитающие в желудке и кишечнике. Но, если конечным продуктом «переработки» крахмала инфузориями является белок (клетки самих инфузорий), то бактерии «на выходе» производят еще и газообразные продукты обмена, что и приводит к печальным последствиям.

Есть еще две группы животных, в организме которых простейшие — желанные обитатели. Это термиты и тараканы. Правда, не те тараканы, которые пока позволяют нам жить с ними в одном жилище, а тропические насекомые, питающиеся почти исключительно древесной пищей (впрочем, «наши» тараканы тоже могут питаться влажной бумагой, если ничего другого нет).

В кишечнике этих насекомых живут особые виды многожгутиковых простейших, в клетках которых имеются ферменты, позволяющие переваривать целлюлозу, тогда как у их хозяев своих таких ферментов нет. Поэтому личинки термитов и тараканов специально заражаются жгутиконосцами, а у кишечника тараканов даже имеются особые «карманы», где простейшим комфортно пребывать и размножаться.

Но, пожалуй, наиболее важны, все-таки, свободноживущие простейшие.

Как известно, границы биосферы во многом определяются распространением бактерий. Простейшие расселены не так широко, однако и они, благодаря мелким размерам, быстрой смене

поколений, способности переживать неблагоприятные условия в цисте, также встречаются — от горных ледников до глубоководных океанических впадин.

Все живые существа на Земле по характеру их питания принято делить на продуцентов, консументов и редуцентов. Организмы, использующие солнечную или химическую энергию и создающие органические вещества за счет неорганических (автотрофы), являются продуцентами. Консументы — это гетеротрофные организмы, пользующиеся готовыми органическими веществами, которые синтезированы продуцентами. Редуценты — это гетеротрофные организмы, получающие энергию либо путем разложения тканей погибших живых организмов, либо путем поглощения растворенного органического вещества, в том числе продуктов обмена продуцентов, консументов и других редуцентов.

Среди простейших к продуцентам относятся окрашенные жгутиконосцы, или одноклеточные водоросли, как их называют ботаники; к консументам и редуцентам — подавляющее большинство остальных простейших.

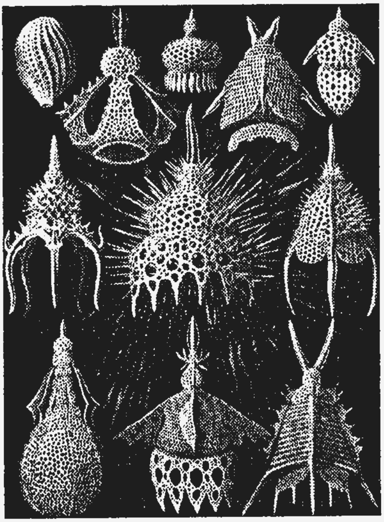
Итак, для начала отправимся в самое большое скопление «капель воды», т. е. в Мировой океан.

В морях и океанах фауна простейших наиболее разнообразна. Из 200 тысяч известных видов протистов около 40 тысяч — морские.

При этом наибольшее количество первичной продукции (т. е. органических веществ, получаемых путем фотосинтеза) дают не высшие растения, а фитопланктон Мирового океана, большую часть которого составляют окрашенные жгутиконосцы (в основном, панцирные жгутиконосцы — динофлагеллаты). Они играют важную роль не только в производстве органических веществ, но через фотосинтез и дыхание влияют на содержание кислорода и углекислого газа в атмосфере Земли. По оценке американского профессора Дэвида Паттерсона, общий вес простейших-жгутиконосцев, одновременно находящихся в Мировом океане, составляет более 10 миллионов тонн! Наверное, многие встречали выражение: «Леса — легкие планеты», но это гораздо более справедливо в отношении планктонных фотосинтезирующих протистов.

Кроме автотрофных простейших, в морях много гетеротрофов — жгутиковых и инфузорий. Они питаются продуцентами (кроме зеленых водорослей, к ним относятся еще цианобактерии) и бактериями, а также другими простейшими.

При этом пищевые связи в морских экосистемах переплетаются чрезвычайно сложным образом, и эти связи не всегда сбалансированы. Например, если в морской воде по разным причинам, а часто



Скелеты радиолярий. Рисунок из альбома Э. Геккеля «Красота форм в природе»

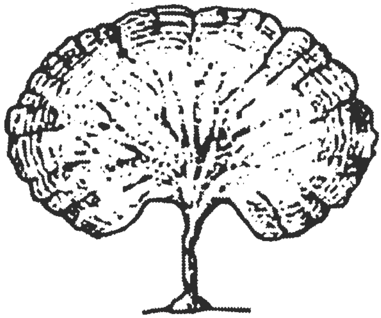
по вине человека, накапливается много растворенной органики, первыми размножаются бактерии, а за ними — простейшие, такие как уже упомянутые панцирные жгутиконосцы и инфузория *Myrionecta rubra*. От огромного количества этих организмов вода становится красноватой, да еще и токсичной, за счет ядовитых для водных организмов (да и человека) продуктов обмена жгутиконосцев. Такое явление называют «красными приливами».

Планктонные простейшие (вместе с бактериями) образуют скопления, которые называются «морской снег». Такие скопления служат пищей для мелких планктонных ракообразных и являются основой морских пищевых цепей.

Планктонными являются и одни из самых красивых одноклеточных организмов — радиолярии. Их ажурные внутренние скелеты, состоящие из окиси кремния или сернокислого стронция, необычайно разнообразны.

Простейшие составляют основу и донных биоценозов морей. Наиболее разнообразна фауна организмов, населяющих толщу морского песка,— интерстициаль. Совокупность организмов, которые живут в таких условиях, называется мезопсаммоном. Для обитателей интерстициали характерны морфологические адаптации к обитанию между песчинками. Многие инфузории здесь имеют листовидную, веретеновидную или червеобразную форму. Вообще инфузории доминируют в таких биотопах, здесь встречаются сотни видов, а численность инфузорий интерстициали достигает миллионов экземпляров на кубический сантиметр песка.

На морском дне преобладают фораминиферы — простейшие, имеющие причудливый известковый скелет-раковинку. На поверхности раковины фораминифер расположены многочисленные отверстия, сквозь которые проходят тоненькие нитевидные псевдоподии. Отсюда и название этих организмов, которое переводится как «несущие отверстия». Плотность фораминифер в донных илах может достигать 1000 экз./г.



Ксенофиофорея. Рисунок Э. Геккеля

Наконец, на самых больших океанских глубинах численность инфузорий, жгутиконосцев и амеб снижается. Зато кроме них здесь обитают загадочные существа — ксенофиофореи. Их тело представляет собой гигантскую (до 27 см) клетку, часто угольно-черную, листовидную или напоминающую губку. Ксенофиофореи заселяют поверхность глубоководных осадков во всех океанах, но особенно много их обнаружено в Тихом океане. Хотя они были открыты еще в конце XIX века, очень мало известно об их образе жизни. Питаются они, по-видимому, бактериями.

Миллиарды протистов, имеющих неорганическую раковину (таких как радиолярии или фораминиферы), отмирая и оседая на дно, формируют донные осадки — илы и другие донные отложения. Этот процесс начался не менее 1,5 миллиарда лет назад и будет идти, пока существует биосфера. В результате, даже те, кто никогда не видел протистов под микроскопом или на картинке, наверняка видели результаты их деятельности.

Наиболее распространенный (и наименее удачный) пример — это писчий мел. В школьных учебниках и в популярной литературе часто встречается рисунок, где в поле зрения микроскопа изображены несколько раковин ископаемых протистов — фораминифер. Читателя убеждают, что мел из них и состоит. На самом деле этот минерал образован не раковинами фораминифер, а известковыми чешуйками с поверхности клетки других протистов — кокколитофорин. В 1 $см^3$ писчего мела насчитывается от 10 до 100 миллиардов таких чешуек. Кстати, именно мелкие размеры этих организмов и позволяют писать мелом. Фораминиферы намного крупнее и их раковины просто царапали бы поверхность доски.

Зато фораминиферы отличились в другом — отмирая, эти организмы создали материал для крупнейших на Земле горных массивов. Миллиарды раковинок фораминифер — это основной материал, из которого образованы Пиренеи, Альпы, Гималаи, нагорья Северной Африки.

Одно из первых упоминаний о простейших в исторических хрониках связано с нагорьями Северной Африки. Дело в том, что известняки Северной Африки в основном сложены из очень крупных

ископаемых фораминифер-нуммулитов. Их раковинка, имеющая форму плоской спирали, достигает диаметра 15 см, но большинство нуммулитов имеют размеры 2–3 см и внешне они очень похожи на монетки. Отсюда, кстати, происходит и их название — от латинского слова *nummulus* (монетка). В Северной Африке можно встретить глыбы известняка с характерным выветриванием — когда окружающая раковины фораминифер порода выветрилась, а более плотные раковины остались. Выглядит это так, как будто кто-то высыпал на поверхность скалы мешок денег. Известно, что во время египетского похода Юлия Цезаря, когда в его армии были проблемы со снабжением, легионеры, проходя мимо таких глыб, роптали, мол, как можно воевать, когда у Цезаря не достает средств на провиант, а у египтян денег столько, что они даже окаменели.

Не только фораминиферы ответственны за формирование горных пород. Радиолярии, имеющие внутренний кремнеземный скелет, образовали кремнистые глины и сланцы, трепела, поделочные и ювелирные минералы — яшмы, опал и халцедон.

Ископаемые простейшие — радиолярии, кокколитофорины — относятся к так называемым руководящим ископаемым. Определение видового состава этих организмов позволяет устанавливать возраст пород и более целенаправленно искать полезные ископаемые. Особенно важны для этого, пожалуй, фораминиферы, так как они «помогают» искать «кровь экономики» — нефть.

Кроме морей, огромное количество простейших обитает в пресных водоемах. Правда, для пресноводных сообществ, в отличие от морских, характерно отсутствие четкого разделения форм простейших по местообитаниям. Например, планктонные формы могут быть найдены на дне, и наоборот. Кроме того, в пресных водах полностью отсутствуют радиолярии и фораминиферы. Последних в какой-то мере замещают раковинные амебы. Отсутствует в пресных водах и специфическая фауна интерстициали.

Огромное количество разнообразных простейших обитает в почвах, где они участвуют в процессах разложения тканей погибших растений и животных и, соответственно, в образовании плодородного слоя почвы — гумуса. Невидимая пленка влаги, окружающая частицы почвы, представляет собой полноценное местообитание, в котором протисты могут жить и получать богатую пищу. Один грамм внешне сухой почвы достаточен для поддержания популяций, включающих десятки или даже сотни тысяч одноклеточных организмов.

Фауна почвенных протистов не специфична и в основном включает виды, встречающиеся в близлежащих водоемах. Однако почти

все эти виды адаптированы к периодическому высыханию и чаще встречаются все же в почве. Универсальным свойством почвенных простейших является способность к образованию покоящихся стадий — цист.

Простейшие играют важнейшую роль в почвенных сообществах. Мелкие жгутиконосцы и амебы, в частности, являются регуляторами численности бактерий. Наиболее многочисленны в почвах раковинные амебы, которых насчитывается до 2 млн экземпляров на грамм почвы, а их биомасса составляет до 95 % биомассы всех простейших. По оценкам австрийского профессора В. Фойсснера, биомасса простейших в почве сравнима с суммарной биомассой многоклеточных животных — круглых червей, дождевых червей, клещей, многоножек, коллембол и насекомых.

Еще отец протистологии Антони ван Левенгук обнаружил, как легко многие простейшие разводятся в искусственных условиях. Эта особенность делает их классическими лабораторными организмами, а ее использование позволило открыть многие тайны природы. Используются культуры простейших в медицине и даже в криминалистике. Также протисты являются незаменимыми индикаторными организмами — по их видовому составу оценивают качество природных вод, почвы и т. п.

Таким образом, эти существа проделывают огромную работу, результатами которой мы пользуемся, обычно не задумываясь, кому мы этим обязаны.

Глава 3

СТАРЫЕ ЗНАКОМЫЕ

Монада, точка малая средь вод,
Без ног, без членов — плавает, снует...
Живым мерцает колесом Сувойка;
А там играет формами Протей,
То шар, то куб, то будто червь иль змей...
Эразм Дарвин. Храм природы,
или Происхождение общества

В этой главе мы несколько подробнее ознакомимся с теми видами простейших, которые обычно приводятся в школьных учебниках биологии: обыкновенной амебой, эвгленой зеленой, инфузорией-туфелькой, малярийным плазмодием. Есть надежда, что уж этих протистов читатели быстро вспомнят, так как все учили в школе биологию. Правда, конечно, с разным успехом, так как в школе сложилась парадоксальная ситуация, когда большинство детей интересуется биологией как наукой и терпеть не может биологию как предмет. Впрочем, эту книгу наверняка взяли в руки те, на ком эта ситуация отразилась в наименьшей степени.

Ну и для того, чтобы как-то показать, что на самом деле простейших не четыре вида, а около 200 тысяч, хотя бы коротко упомянем гораздо более многочисленных «родственников» четырех видов из школьного учебника.

Амеба обыкновенная

Chaos protheus — желатинообразный, разноформно-изменчивый. Обитает в пресной воде. Внешний вид своеобразный и совершенно не определенный, принимающий одновременно тысячи аномальных форм[1].

Карл Линней. Система природы. 1766 г.

Обыкновенная амеба, амеба-протей, или, по-научному, *Amoeba proteus* — тот самый Протей, который «играет формами» в поэме Эразма Дарвина, первой появляется на страницах школьных

[1] Перевод с латыни Галины Воскобойник.

учебников, так что может создаться впечатление, что это наиболее просто организованный одноклеточный организм. Надо сказать, впечатление обманчивое. Строение амебы далеко не сводится к наличию только цитоплазмы, наружной оболочки, ядра, сократительной и пищеварительных вакуолей.

Дело в том, что у одноклеточных одна-единственная клетка должна выполнять все функции целого организма. Поэтому у амебы, кроме перечисленных, имеются все клеточные органеллы, характерные для клетки многоклеточных организмов: эндоплазматическая сеть, комплекс Гольджи, рибосомы, лизосомы, митохондрии с трубчатыми кристами и т. д.

Кроме того, имеются дополнительные органеллы, необходимые уже собственно клетке-организму. У амеб это сократительные вакуоли, которые помогают поддерживать между клеточным телом и внешней средой равновесие в содержании растворенных в цитоплазме солей, пищеварительные вакуоли, в которых переваривается пища.

Снаружи клетка амебы, как и у всех простейших, окружена плазмалеммой, которая состоит из трехслойной мембраны и наружного слоя — гликокаликса. Для чего он нужен — чуть позже. Плазмалемма защищает содержимое клетки от внешних воздействий, через нее же осуществляется взаимодействие организма с внешней средой.

Обыкновенная амеба способна формировать и более плотные наружные структуры — цисты.

Цитоплазма амебы не является однородной. Под наружной мембраной ее клетки находится слой жидкой цитоплазмы, имеющий наибольшую толщину в области образования псевдоподий. Далее идет довольно толстый слой желатинизированной цитоплазмы, в котором располагается сократительная вакуоль, и, наконец, жидкая часть, в которой помещается ядро.

Ядро у обыкновенной амебы одно, хотя известны и многоядерные виды амеб. Ядро, как и у любой эукариотной клетки, окружено мембраной, однако у амебы-протея под ядерной мембраной имеется еще дополнительный фибриллярный слой, который довольно сложно организован в виде соединяющихся между собой ячеек, напоминающих пчелиные соты. Отсюда и его название — «сотовый слой».

В клетке амебы могут находиться симбионты — бактерии. Они размещены не прямо в цитоплазме, а находятся в специальных, симбиофорных (т. е. несущих симбионтов) вакуолях. В таких же вакуолях могут находиться и автотрофные симбионты — зеленые

водоросли, правда, они встречаются у амеб крайне редко. Также в цитоплазме имеются сократительные белки — актин и миозин, которые, как и в наших мышечных клетках, обеспечивают движение амебы. Кроме того, у амеб в цитоплазме в специальных вакуолях находятся кристаллы разной формы и размеров. Правда, функции этих образований пока неизвестны.

Размножается амеба только бесполым путем — делением. У амеб деление не имеет определенной ориентации. Тело вытягивается, на экваторе намечается поперечная перетяжка, она постепенно углубляется — и, наконец, клетка разделяется на две половины, которые немедленно начинают самостоятельно двигаться и питаться. Деление цитоплазмы сопровождается митотическим делением ядра. Остальные клеточные органоиды либо сами делятся, либо просто распределяются между дочерними особями, а недостающие образуются заново.

Надо сказать, что представления о том, что амеба только и делает, что непрерывно размножается делением, неверны. Автор расстался с этими иллюзиями, участвуя в съемках научно-популярного фильма на киностудии «Киевнаучфильм», когда задача как раз и была — заснять деление амебы. «Уговорить» непокорное существо поделиться удалось только на четвертый день. Потом оказалось, что еще повезло — можно было и две недели дожидаться!

Дело в том, что, действительно, мелкие виды амеб могут размножаться три-четыре раза в сутки, тогда как крупные, к которым амеба-протей и относится,— только один раз в двое-трое суток. А в лаборатории при недостатке пищи амеба может жить и не делиться до 70 суток.

Представления о том, что амеба не имеет определенной формы тела, тоже не совсем верны. Точнее верны, если говорить о форме непостоянной. Дело в том, что если амеба неподвижна или кратковременно перемещается на небольшое расстояние, ее форма, действительно, может быть какой угодно. Однако клетка, которая движется в определенном направлении, приобретает характерную форму, которая так и называется локомоторной (т. е. подвижной). Локомоторная форма своя у каждого вида голых (лишенных раковины) амеб. У одних видов при движении всегда образуется только одна псевдоподия (они так и называются — моноподиальные). У других видов псевдоподий несколько. Могут различаться формы псевдоподий, часто специфичную форму приобретает задний в данный момент конец клеточного тела амебы, который даже имеет специальное название — уроид. Именно эта особенность позволяет различать виды голых амеб. Поэтому, когда специалисты

описывают эти виды, они чаще всего имеют в виду именно их локомоторную форму.

Таким образом, уже на примере «простой» амебы видно, что клетка простейших устроена гораздо сложнее, чем выполняющие ограниченное число функций, специализированные и упрощенные клетки многоклеточных. Можно сказать, что клетки простейших, вопреки их названию,— наиболее сложно организованные среди всех эукариот.

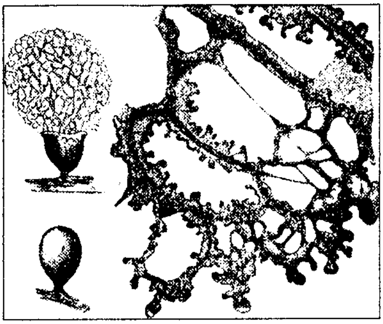
Амеба-протей является представителем огромной группы организмов, которых раньше называли саркодовыми, или амебообразными. Как показали генетические исследования, на самом деле далеко не все они родственники обыкновенной амебы. В таком случае говорят о том, что мы имеем дело не с систематической, а с экологической группой организмов. И с богатой видами группой.

Обыкновенная амеба относится к группе так называемых «голых» амеб, которые лишены наружного скелета — раковины. Сейчас известно более 1000 видов голых амеб. Они обитают в водоемах любого типа, почве, есть среди них и паразитические виды. Как эти виды различают, мы уже примерно знаем. Но, кроме локомоторной формы, амебы различаются еще размерами, диапазон которых составляет от 10 микрометров до нескольких миллиметров, и числом ядер.

Человека, конечно, в первую очередь интересуют амебы, представляющие для него опасность. Такие виды действительно есть. Наиболее известна среди них *Entamoeba histolytica* — возбудитель амебной дизентерии.

Дизентерийная амеба — паразит, но есть и виды свободноживущих амеб, которые, попав в организм человека, могут вызывать заболевания. Это акантамебы и неглерии. Акантамебы живут в стоячих водоёмах, но, оказавшись в теле человека, могут вызывать тяжелую болезнь, сходную с энцефалитом. Кроме того, известны случаи, когда цисты амеб попадали в специальный раствор, в котором хранят контактные линзы. Попав вместе с линзами на глаза, амебы там размножались, вызывая тяжелую инфекционную болезнь, способную привести к потере зрения.

Еще опаснее неглерии. Это почвенные амебы, но попадают они в организм человека чаще всего при купании, например, в бассейнах с некачественной облицовкой стенок. Через язвочки на слизистой носоглотки или на коже неглерии могут попадать в кровеносную систему, а оттуда в разные органы. Опаснее всего попадание неглерий в спинномозговую жидкость, что может вызвать менингоэнцефалит со смертельным исходом.



Слизевики.
Рисунок из книги Э. Геккеля «Царство протистов»

Надо сказать, что заражение и акантамебами и неглериями чаще всего болезни не вызывает. Это как раз случаи оппортунистических инфекций, которые опасны в случае иммунодефицита.

В почве, гниющей древесине, под опавшими листьями обитает около тысячи видов загадочных амебообразных организмов, которые называются слизевики. Они могут существовать в виде одиночных амеб, которые затем объединяются в один гигантский (диаметром несколько сантиметров) плазмодий, также обладающий способностью к движению. Часть объединившихся в плазмодий амеб потом образует нечто похожее на спорангии грибов, на вершинах которых амебы инцистируются, а цисты разносятся ветром. Поэтому слизевиков раньше относили к грибам.

Такие плазмодии очень удобны для изучения механизмов движения цитоплазмы и взаимодействия между отдельными особями протистов. Во время таких исследований немецкие ученые из г. Бонн установили своеобразный рекорд, получив в лабораторных условиях плазмодий (т. е. одну клетку) слизевика-физарума площадью 5,54 м^2 и толщиной 1 мм!

Впрочем, для того чтобы увидеть такое чудо, не обязательно ехать в Германию. Достаточно посмотреть фильм режиссера Андрея Тарковского «Солярис». Дело в том, что когда этому режиссеру не удалось подобрать никакого вещества, которое бы удачно имитировало поверхность планеты, представляющую собой океан живой протоплазмы, ему посоветовали использовать для этой цели именно гигантский плазмодий слизевика, что и было сделано.

Кроме амеб «голых» известны еще амебы раковинные. У них имеется наружный скелет, состоящий из приклеенных к клетке амебы песчинок или других частиц. В нижней части раковины имеется отверстие — устье, через которое амеба выпускает псевдоподии, с помощью которых питается и движется.

Известно несколько сотен видов раковинных амеб, которые живут, в основном, в пресных водоемах, а также в почве.

Но слизевики, голые и раковинные амебы — это только небольшая часть протистов, имеющих форму «саркоды». Те, кто хочет

узнать о них больше, могут найти эту информацию в книгах, список которых приводится в конце данного издания.

Эвглена зеленая

Эвглена зеленая (*Euglena viridis*) имеет характерную форму «монады». Это о таких жгутиконосцах Эразм Дарвин писал: «Монада, точка малая средь вод...»

Как и многие ее «родственники», эвглена имеет веретеновидную форму тела. Передний конец его более или менее закруглен, тогда как задний вытянут и заужен. Тело эвглены зеленой скручено в спираль, хотя степень этой скрученности ниже, чем у других эвглен. Эта особенность эвглен позволяет опознать их в ископаемом состоянии (такие находки были сделаны в янтаре).

Вопреки сказанному в учебниках, на переднем конце тела эвглены расположены не один, а два жгутика. Только они, как у большинства эвглен, неравной длины. Один жгутик очень длинный, равный длине тела эвглены. Второй очень короткий. Оба жгутика прикреплены ко дну особого жгутикового резервуара, при этом короткий жгутик не выходит за его пределы. Поэтому под световым микроскопом он и не виден. Поверхность жгутиков не гладкая — на ней расположены выросты — длинные, собранные в один продольный ряд с одной стороны жгутика, и короткие, которые идут спирально по всей его длине.

Возле одной из сторон жгутикового резервуара расположена сократительная вакуоль. Ее содержимое изливается в резервуар. Туда же открывается крошечный рудиментарный клеточный рот. Считается, что с его помощью эвглена может питаться путем пиноцитоза.

Как известно, у эвглены имеется особая органелла — стигма. Она тоже расположена возле стенки жгутикового резервуара, с противоположной от сократительной вакуоли стороны. Стигма окрашена либо в красный, либо в оранжево-красный цвет за счет пигмента бета-каротина и принимает участие в фотоориентации эвглены, что важно при автотрофном питании.

Поверхность клетки эвглены покрыта плазмалеммой. Но под плазмалеммой находится еще слой сложно организованных лентовидных белковых пластинок, которые проступают сквозь плазмалемму, образуя на поверхности клетки спиральные ребра. Между пластинками имеются промежутки, что позволяет, при достаточной прочности такого покрова (его даже называют кутикулой), сохранить гибкость поверхности тела.

Эвглена зеленая способна к автотрофному питанию, в ее клетке имеются хлоропласты — органеллы, в которых осуществляется

фотосинтез. У разных видов эвглен форма и число хлоропластов различны, что используют специалисты для различения их видов. Также в клетке имеются митохондрии с пластинчатыми кристами, аппарат Гольджи и зерна запасного вещества — полисахарида парамилона. Гликоген, о котором иногда пишут в школьных учебниках, у эвглены зеленой отсутствует, его накапливают только бесцветные эвглены, неспособные к фотосинтезу.

Эвглены — одноядерные простейшие. Ядро у них сферическое, расположено в центральной части тела.

Основная форма размножения эвглены — продольное деление надвое. Перед делением ядро перемещается ближе к переднему концу клетки, с которого и начинается борозда, разделяющая тело на два дочерних организма. Половой процесс у эвглен не известен, хотя другие жгутиконосцы способны к копуляции (слиянию гаплоидных, т. е. с половинным набором хромосом, клеток-гамет).

Эвглена передвигается с помощью длинного жгутика, вращаясь вокруг своей продольной оси. При этом с помощью синусоидального биения жгутика создается ток воды, с помощью которого клетка плывет вперед. У других жгутиконосцев форма движения жгутика может быть иной, например, организмы, имеющие жгутики с выростами, могут совершать гребные движения, вращательные, плыть задним концом вперед. Есть виды, способные менять форму биения жгутика, направление и характер движения в зависимости от ситуации.

Но для эвглен характерна и совершенно особая, уникальная форма движения, которая называется метаболия (или эвгленоидное движение). Такое движение, правда, чаще встречается у видов, которые не плавают, а ползают по поверхности субстрата. При этом вдоль тела проходит волна сокращений, которая начинается с расширения его заднего конца, затем перемещается вперед, вызывая движение клетки. Затем обычная форма клетки восстанавливается, а цитоплазма возвращается от ее переднего к заднему концу. Теперь понятно, для чего эвгленам такая сложная структура кутикулы. Без нее метаболия была бы невозможной.

Кроме эвглены зеленой, известно еще около двух тысяч видов эвгленовых жгутиковых (и несколько десятков тысяч неэвгленовых). Среди них есть автотрофные, гетеротрофные и миксотрофные (т. е. со смешанным питанием, как, собственно, эвглена зеленая) организмы. Есть виды-паразиты, свободноживущие, прикрепленные и свободноплавающие.

Как показали молекулярно-генетические исследования, родственниками эвглены являются и такие известные паразитические

организмы как трипаносомы и лейшмании — возбудители сонной болезни, болезни Чагаса, пендинской язвы и других опасных болезней человека.

Инфузория-туфелька

Инфузория имеет вид туфли.
...Передвигается пяткой вперёд.
Из ответов школьников
на уроках биологии. XXI век

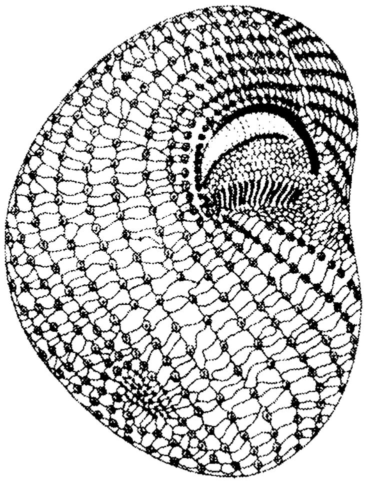
Инфузория-туфелька (*Paramecium caudatum*) получила свое русское название из-за некоторого сходства своего клеточного тела с подошвой обуви. Но это сразу приводит к недоразумению. Ведь так туфелька, или парамеция, выглядит только на плоском рисунке. Для тех, кто наблюдал парамеций живьем, это сходство уже совсем не очевидно. Так что специалисты чаще сравнивают ее, например, с дирижаблем. То, что туфелька совсем не плоская, хорошо заметно, когда она плавает, быстро вращаясь вокруг продольной оси тела. На самом деле клетка парамеции веретеновидная, несколько расширяющаяся от своего переднего конца к заднему. Примерно в середине тела видна широкая ротовая впадина. Все тело парамеции покрыто рядами ресничек, откуда происходит и более современное название инфузорий — ресничные простейшие, цилиофоры (несущие реснички), или цилиаты (ресничные).

Инфузории относительно крупные простейшие. Длина их тела составляет от 50 до 300 микрометров, есть виды длиной 2–3 мм, некоторые прикрепленные виды достигают даже 5 мм в длину. Инфузории-туфельки имеют длину 150–200 микрометров, т. е. 0,15–0,20 мм, что тоже довольно много. Если взять колбу с культурой парамеций и посмотреть на свет, то даже невооруженным глазом можно увидеть множество мелких продолговатых телец, которые активно плавают в верхнем слое жидкости.

Наиболее характерная черта инфузорий, благодаря которой большинство из них легко отличить от других простейших,—это наличие органелл движения — ресничек. Надо сказать, что реснички у инфузорий, и туфелька тут не составляет исключения, расположены не беспорядочно, а объединены в ряды. У парамеции ряды ресничек тянутся вдоль всего тела, но не прямо, а в виде вытянутых спиралей. Благодаря этому она не только плывет вперед, но еще и вращается вокруг продольной оси тела. Кроме того, реснички неодинаковы, так как кроме движения участвуют еще в питании (для этого служат специальные околоротовые реснички) и ориентации

инфузорий в пространстве (тут уже используются чувствительные реснички).

Реснички могут объединяться в особые ресничные поля, иногда они располагаются очень близко одна возле другой, почти сливаясь, и такая группа уже работает как единая структура. Если такие «слипшиеся» реснички расположены в ряд, эта структура называется мембранеллой. Мембранеллы — это околоротовые структуры, которые направляют пищу в клеточный рот инфузорий. У инфузории-туфельки таких мембранелл четыре.



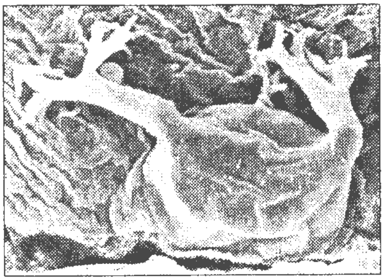
Импрегнированная серебром инфузория *Hausmaniella* чем-то похожа на отпечаток пальца (рисунок В. Фойсснера)

Пучок объединенных ресничек называется циррой. С помощью цирр инфузории, у которых они имеются, перемещаются по поверхности субстрата, как бы бегая по нему с помощью таких «ножек».

Надо сказать, что расположение и число ресничек, цирр, мембранелл свое для каждого вида инфузорий, и специалисты именно по этим признакам обычно различают известные ко времени написания этой книги примерно 10 тысяч видов ресничных простейших.

Интересно, что это стало возможным в результате поисков у инфузорий аналогов нервной системы многоклеточных животных. Ученых всегда интересовало, каким образом такой сложно организованный аппарат, как ресничная система инфузорий, работает согласованно, обеспечивая разнообразные и сложные движения. Инфузории ведь не просто плавают, вращаясь вокруг своей оси. Они могут менять направление движения, ускоряться и замедляться, «давать задний ход» и т. п.

А классическим способом окраски нервной системы у животных является импрегнация серебром — своеобразный аналог фотографии. Для этого препарат обрабатывают раствором какой-нибудь соли серебра, а потом выдерживают на свету какое-то время. При этом препарат «проявляется», т. е. восстанавливается серебро, которое вступило во взаимодействие с определенными клетками (например, нервными). Нервные клетки становятся контрастными, черными или темно-коричневыми.



Сукториия *Dendrocometes paradoxus* живет на жабрах рачков-бокоплавов, ловит и поедает других инфузорий своими древовидными щупальцами (сканирующая электронная микроскопия) (фото автора)

Когда венгерские ученые фон Гелеи и Горват попробовали то же самое проделать с клетками инфузорий, они действительно обнаружили на их поверхности сложную систему линий, похожих на нервы. Но потом оказалось, что ничего похожего на нервную систему у инфузорий нет, а то, что наблюдали,— на самом деле окрашенные серебром ресничные ряды или отдельные реснички. Такая система линий серебрения — своеобразная «карта», на которой видно, как организован ресничный аппарат у инфузории. Чем-то полученная после импрегнации серебром картинка (ее еще называют «аргиром», от латинского *argentum* — серебро) напоминает отпечаток пальца, и так же, как отпечаток позволяет надежно определить, кто его оставил, аргиром позволяет очень надежно различать виды инфузорий, и сейчас без его анализа не обходится ни один специалист, изучающий цилиат.

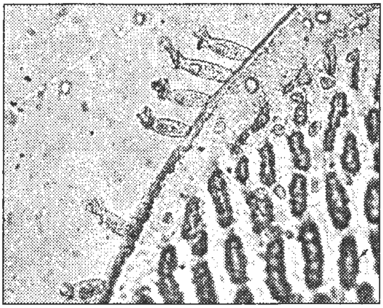
При относительно небольшом для группы простейших числе видов (около 10 тысяч) инфузории чрезвычайно разнообразны по внешнему облику и образу жизни.

Кроме инфузорий, внешне похожих на туфельку, имеются прикрепленные виды, которых с первого взгляда и инфузорией не назовешь. Это сидячие хищники — суктории, взрослые особи которых не имеют ресничек, а вместо рта у них щупальца.

Есть среди инфузорий и большая группа сидячих фильтраторов. Наиболее известны кругоресничные инфузории — перитрихи. Клеточное тело перитрих обычно прикреплено к субстрату с помощью стебелька, а рот снабжен спирально закрученным рядом плотно расположенных одна возле другой ресничек — мебранеллой. Обычно тело перитрихи симметрично и имеет вид перевернутого конуса, или колокольчика. В английской научной литературе его так и называют — «*bell*», т. е. «колокольчик» или «бубенчик».

Реснички ротового аппарата перитрих непрерывно работают, создавая вокруг «колокольчика» постоянный ток воды. «Живым мерцает колесом Сувойка...» — это в поэме Эразма Дарвина как раз о кругоресничных инфузориях. Перитрихи очень активные

фильтраторы, которые поедают бактерий и другие взвешенные в воде частицы. Поскольку они очень многочисленны, то выполняют важную роль в процессах самоочистки водоемов от органических загрязнений. Эту особенность организмов используют и в сооружениях по очистке бытовых и промышленных стоков. Поэтому в таких сооружениях стараются создать условия, пригодные для жизни инфузорий, особенно кругоресничных.



У обитающих на жабрах рачков-бокоплавов инфузорий-хонотрих *Spirochona gemmipara* клеточный рот находится на дне изящной спирально закрученной воронки (фото автора)

Надо отдать должное инфузориям — среди довольно большого числа паразитических видов только один балантидий (*Balantidium coli*) может паразитировать у человека. Впрочем, балантидий вообще крайне неразборчив в выборе хозяев, обитает в кишечнике самых разных млекопитающих — обезьян, грызунов, даже сумчатых. Люди обычно «получают» балантидия, а вместе с ним и острое кишечное расстройство — балантидиоз, от домашних свиней.

Малярийный плазмодий

Я узнал твои деянья,
О, убийца вековой!
Рональд Росс,
лауреат Нобелевской премии

Малярийный комар, высосав кровь из заражённого человека, летит к здоровому.
Из ответов школьников
на уроках биологии. XXI век

Всем известен Панамский канал — грандиозное сооружение протяженностью 82 километра, водный путь между Атлантическим и Тихим океанами. Судоходство по нему было открыто в 1914 году. Однако мало кто помнит, что первая попытка прорыть Панамский канал была предпринята в 1881 году и закончилась неудачно. В свое время с первым строительством был связан грандиозный скандал, на десятки лет слово «панама» стало нарицательным не столько для фасона головного убора, сколько для крупных

финансовых афер. Но ведь руководил строительством сам Фердинанд де Лессепс — знаменитый строитель Суэцкого канала! Что же помешало этому, как бы сейчас сказали, выдающемуся менеджеру, успешно завершить строительство другого канала?

Дело в том, что одной из главных проблем при строительстве Суэцкого канала был недостаток воды. На Панамском перешейке, наоборот, воды был избыток. В зоне строительства была масса болот и других влажных мест, где в огромном количестве размножались малярийные комары. В первый же год строительства крошечный одноклеточный организм, представитель рода *Plasmodium* малярийный плазмодий, начал «косить» рабочих и инженеров. Затраты на борьбу со вспышкой малярии уже в первые два-три года превысили предусмотренные сметой на само строительство, которое пришлось прекратить. По неточным данным, за восемь лет строительства погибло около двадцати тысяч человек.

Это только один пример того значения, которое имеет возбудитель малярии для человека. Но что это за организм, который вызывает столь тяжелую болезнь?

Надо сказать, что у возбудителя малярии сложный жизненный цикл, как и у многих других паразитических организмов. Сухое изложение такого материала в учебниках непросто понять, по студенческому опыту автора это не самый любимый раздел протистологии, к тому же требующий запоминать большое число специальных терминов, которыми обозначают разные стадии развития паразита.

В таких случаях часто полезно обратиться к тому, как те или иные особенности биологии организма были установлены, проследить логику тех, чьи исследования и послужили основой для скупого текста учебника. Здесь историки науки оказывают неоценимую помощь и ученым и преподавателям. Тем более что, в отличие от скучноватых учебных текстов, история изучения паразитических протистов — это сочетание и повседневной, рутинной, и далеко не всегда интересной работы, и самоотверженности, риска, гениальных догадок, удач и неудач. История изучения цикла развития малярийного плазмодия не является исключением.

Люди давно обратили внимание, что малярия свирепствует в особых местах, где много болот или других мелких стоячих водоемов. Из-за малярии целые регионы были практически непригодными для жизни людей. Однако выяснить природу этой болезни долго не удавалось. Считалось, что ядовитые испарения болот и «плохой воздух» (по-итальянски — *mal aria*) и вызывают мучительные приступы лихорадки.

Тысячи лет люди гибли от малярии, а врачи искали способ борьбы с этой болезнью. Кроме «плохого воздуха» ученые предлагали все новые причины малярии, вплоть до того, что малярия не что иное, как кишечное расстройство. Наконец, в 1880 году французский врач Лаверан обнаружил в эритроцитах и плазме крови больных малярией странных «микробов», которые то имели форму веретена, то кольца, порой занимающего почти весь эритроцит. Но как этот организм попадает в кровь человека, оставалось совершенно непонятным.

Правда, у английского врача Патрика Мэнсона были на этот счет свои соображения. Он много лет проработал в Китае и стал известен тем, что открыл паразитических червей-нематод, обитающих в крови человека, и доказал, что эти черви размножаются в организме двукрылых насекомых — мокрецов и мошек. Таким образом, Мэнсон был одним из первооткрывателей трансмиссивных болезней, т. е. тех, которые передаются животными-переносчиками. Впрочем, сам он энтомологом не был, поэтому считал всех упомянутых насекомых разновидностями комаров.

Патрик Мэнсон полагал, что и малярию передают какие-то комары. Они напиваются крови больных малярией, в их организме паразиты переходят в стадию устойчивых к внешним воздействиям спор. Потом комары гибнут, падают в воду, а люди, выпив воду со спорами, выпавшими из тел комаров, заражаются малярией.

Идеи Патрика Мэнсона казались современникам весьма странными и неприемлемыми. Но однажды он поделился своими размышлениями о природе малярии с молодым английским врачом, который работал в Индии и интересовался проблемой малярии, Рональдом Россом. Кстати, именно тем врачом, который утверждал, что малярия — разновидность кишечного расстройства. Может быть, к счастью, Росс тоже не был энтомологом, поэтому в версии, что соучастники преступления именно комары, а не другие кровососущие насекомые, нисколько не усомнился.

Росс, что называется, загорелся идеей и, вернувшись в Индию, стал пытаться кормить самых разных комаров на теле больных малярией индусов. Потом комары вскрывались, и в их организмах Росс искал возбудителя малярии, которого до этого уже видел в крови больных людей.

Два года напряженной работы не давали результата, пока в 1897 году Росс не обнаружил на стенках кишечника комара, за трое суток до этого питавшегося кровью больного малярией, округлые тельца, заполненные характерными веретеновидными клетками.

Еще через год Рональду пришло в голову, что неплохо бы воспользоваться советом все того же Мэнсона и перенести эксперименты с людей на птиц, которые болеют малярией (правда, птичьей, для человека не опасной).

Кстати, это прекрасный пример необходимости эволюционного подхода к исследованию. Ведь выбирая для изучения модельный (лабораторный) объект, Росс исходил из того, что это должен быть организм, находящийся хотя и в отдаленном, но все же родстве с человеком, т. е. в данном случае был выбран представитель теплокровных позвоночных (птиц). Если бы Росс считал, что такого родства нет, то и переносить результаты таких экспериментов на человека бы не стал.

И уже у птиц Росс увидел, как овальные тельца лопаются и вышедшие из них возбудители птичьей малярии мигрируют в слюнные железы комара. Стало понятно и то, что комары должны передавать малярию через укус, а не падая в воду. Это было доказано Россом экспериментально — зараженные комары кусали здоровых птиц, и те заболевали малярией.

В результате в общих чертах цикл малярии был расшифрован, «роковой убийца» разоблачен, научная общественность была в восторге. Но попытки Рональда Росса проследить те же стадии малярии у человека завершились неудачей. Не удавалось даже повторить находки «округлых телец» у комаров, кормившихся на людях.

Росс не мог понять, в чем дело. Он просто не знал, что видов комаров много и далеко не все из них могут быть переносчиками малярии. Для этого нужен был профессионал-зоолог, специалист по комарам, чтобы изобличить еще и «сообщника» плазмодия.

И такой человек нашелся. Независимо от Мэнсона и Росса, в 1898 году проблемой малярии занялся известный итальянский зоолог Батиста Грасси. О комарах как возможных переносчиках малярии Грасси услышал от знаменитого Роберта Коха (открывшего, в частности, возбудителей сибирской язвы, туберкулеза и холеры), который приезжал в Италию изучать этот вопрос. Впрочем, Кох потерпел здесь неудачу и роль комаров в распространении малярии отрицал.

Но авторитет Коха на Грасси никак не подействовал. Он знал, что в Италии обитает несколько десятков видов комаров, что есть местности, где много комаров, но нет малярии, и что в местностях, где есть малярия, комары есть всегда. Отсюда напрашивался неизбежный вывод, что не любые виды комаров, а строго определенные могут быть переносчиками.

Свою гипотезу Грасси проверял уже не как медик, а как зоолог. Он объездил все маляриеопасные регионы Италии, сравнивая карты распространения определенных видов комаров с картами распространения малярии. Наконец, был «вычислен» подозреваемый — комар рода *Anopheles*.

Затем последовали эксперименты Батисты на себе (к счастью для науки, неудачные), а потом на добровольцах (к несчастью для них, удачные). Отметим, что эксперименты проводились там, где малярия не отмечалась, но везли анофелесов из местности с заведомо «плохим воздухом». В результате именно после укуса анофелеса люди заболевали малярией. Контрольные эксперименты с другими видами комаров дали отрицательный результат.

Следующий эксперимент Грасси позволил разработать меры профилактики малярии — уже в «малярийной» местности группа проживавших там людей была изолирована от комаров. В результате при почти стопроцентной заболеваемости их соседей подопытные люди малярией не заболели.

Таким образом, совместными усилиями Росса и Грасси следствие по делу «рокового убийцы» было в основном завершено. Правда, еще предстояло выяснить некоторые детали жизненного цикла малярийного плазмодия, вернее плазмодиев, так как оказалось, что их несколько видов. Но занимались этим другие, так как Рональд Росс, получив за свою работу Нобелевскую премию (в 1902 году), и Батиста Грасси, получив звание сенатора Италии, увы, в дальнейшем преимущественно мерялись заслугами и выясняли между собой отношения.

А что касается Панамского канала, то его строительство было возобновлено в 1904 году, когда Рональд Росс и Батиста Грасси уже завершили свои исследования и получили свои награды. В результате, кроме лечения, были разработаны методы профилактики (в частности, борьбы с комарами-переносчиками). Так что реализация нового проекта началась с того, что главным медиком строительства был назначен американский военный врач Уильям Кроуфорд Горгас, который уже имел опыт борьбы на Кубе с переносчиками другой опасной болезни, желтой лихорадки, комарами рода *Aedes*. Горгас два года боролся в районе строительства с комарами, осушая болота, обрабатывая места выплода комаров тоннами инсектицидов. В результате уже в начале строительных работ он почти полностью справился с эпидемиями, что в немалой степени способствовало успешному завершению проекта через десять лет. Следует отметить, что благодаря грамотным действием Горгаса в наши дни эпидемиологическая обстановка по малярии в зоне Панамского

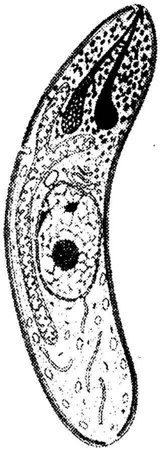


Схема строения инфекционной стадии споровика (по Шолтизеку и Мельхорну)

канала является наиболее благоприятной в Центральной Америке.

Малярийный плазмодий на разных стадиях развития имеет различное строение. Но в стадии, на которой происходит заражение хозяев, он имеет вытянутое клеточное тело длиной полтора-два микрометра. Снаружи клетка покрыта трехслойной мембраной, под которой располагаются микротрубочки. На переднем конце тела находится комплекс структур, который называется коноид. С его помощью плазмодий может внедряться в клетку хозяина. В центре клеточного тела плазмодия находится ядро, ближе к заднему концу — единственная митохондрия. Эндоплазматическая сеть в клетке малярийного плазмодия очень хорошо развита. Характерной особенностью этого паразита является наличие в клеточном теле огромного числа рибосом. Это связано с тем, что характер размножения возбудителя малярии (шизогония) требует очень интенсивного роста клетки и, соответственно, биосинтеза белка, в котором участвуют рибосомы.

Как было установлено, развитие возбудителей малярии (и подавляющего большинства их родственников-споровиков) происходит со сменой разных стадий и в двух видах хозяев. Окончательными хозяевами плазмодиев являются комары рода *Anopheles* (их несколько десятков видов). Так принято, что окончательным хозяином является тот, в организме которого происходит половое размножение. А половой процесс у малярийных плазмодиев как раз в организме комара и проходит. Так что, как не «обидно», но мы с вами для этого паразита хозяева только промежуточные.

Плазмодии попадают в кишечник комара, напившегося крови больного человека. Но ему (или, правильнее, ей, так как самцы комаров кровью не питаются) еще рано «лететь к здоровому человеку». Дело в том, что, если комар насосется вместе с кровью обычных плазмодиев, заразить человека он не может. Для этого часть плазмодиев должна пройти редукционное деление (мейоз), в результате которого образуются гаплоидные (т. е. с одинарным набором хромосом, а не с двойным, диплоидным) клетки. Такие клетки

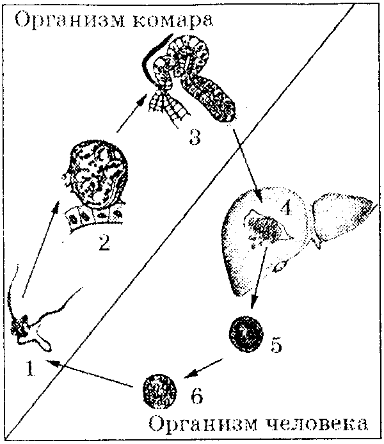
называются гамонтами, т. е. будущими гаметами. Вот с таких гамонтов, попавших в организм комара, и начинается развитие малярийных плазмодиев.

Одни гамонты делятся, причем не как обычная клетка. Сначала несколько раз делится их ядро, потом вокруг каждого из дочерних ядер обособляются участки цитоплазмы и гамонт распадается на четыре-шесть червеобразных гамет. Они мелкие и поэтому называются микрогаметами. Другие гамонты не делятся, а превращаются в крупные макрогаметы. Макрогаметы и микрогаметы сливаются (копулируют), в результате чего получается диплоидная зигота. Эта зигота проникает сквозь стенку кишечника комара, прикрепляется к ее наружной поверхности (то есть оказывается в полости тела комара, где омывается его кровью — гемолимфой) и растет, многократно увеличиваясь в размерах. Именно эту стадию развития плазмодия и увидел Рональд Росс в качестве «округлых телец». Позже оказалось, что эти тельца могут еще и двигаться по стенке кишечника (с помощью особого скользящего движения), откуда и происходит их название — оокинеты (от латинского *ovum* — яйцо и греческого *kinētos* — подвижный).

Достигнув предельного размера, оокинета начинает делиться, причем таким же способом, как и гамонты. Такое деление, когда многократно делится ядро, а потом клетка распадается на большое число дочерних клеток за счет обособления вокруг ядер цитоплазмы, называется шизогонией (от греческого *schizō* — разделяю, расщепляю и от греческого *gone*, *gonéia* — (за)рождение, произведение на свет, потомство). Но образуются в результате деления оокинеты не пять-шесть, а тысячи плазмодиев, которые после разрыва стенки оокинеты оказываются в гемолимфе, с током которой перемещаются в слюнные железы комара, где накапливаются. Такой комар уже настоящий убийца, хотя у него и есть «смягчающее вину» обстоятельство — плазмодии в нем тоже паразитируют, и оокинета, например, растет, питаясь за счет хозяина.

В процессе питания кровью самка комара вводит в тело человека слюну. Делается это не для того, чтобы помочь возбудителю малярии, а чтобы предотвратить свертываемость крови. Но, во-первых, слюна вызывает раздражение и неприятный зуд, во-вторых, при этом человек заражается малярией.

Попав в кровь человека, плазмодии в первую очередь внедряются в клетки печени. Таким образом, сначала поражается орган, который в значительной мере отвечает за иммунную систему человека, т. е. малярийные плазмодии действуют подобно военной



Жизненный цикл возбудителя малярии.
1. Копуляция трех микрогамет с одной макрогаметой.
2. Оокинета на наружной стенке кишечника комара.
3. Заполненные плазмодиями слюнные железы комара.
4. Печень человека. Показана разрушенная клетка печени, из которой выходят плазмодии.
5. Эритроцит, в котором растет плазмодий (стадия «кольца»).
6. Шизогония в эритроците

авиации: сначала одни самолеты подавляют систему ПВО, а потом уже другие отправляются бомбить стратегические объекты.

В клетках печени плазмодии опять размножаются путем шизогонии, так что из одного паразита образуются десятки тысяч дочерних клеток. Естественно, что клетки печени при этом разрушаются, а плазмодии проникают в кровоток и там заражают уже эритроциты. В эритроците плазмодий сначала растет, увеличивается в размерах, занимая почти всю кровяную клетку, а в середине его формируется большая вакуоль. Из-за более светлой вакуоли на этой стадии он выглядит как «кольцо», или «перстень», что и наблюдал Лаверан.

По окончании роста паразит опять размножается путем шизогонии, и тысячи дочерних клеток выходят из разрушенных эритроцитов в плазму крови, где снова внедряются в новые эритроциты. Обычно это происходит почти синхронно во многих эритроцитах, поэтому приступы малярийной лихорадки, вызванные разрушением кровяных клеток и попаданием в кровь токсичных веществ — продуктов обмена плазмодиев, повторяются через примерно равные промежутки времени.

В части эритроцитов происходит не митотическое деление, а мейоз, т. е. образуются гамонты, которые готовы продолжить свое развитие в организме комара.

Многие детали жизненного цикла малярийного плазмодия были выяснены через десятки лет после работ Лаверана, Росса и Грасси. Когда ситуация более-менее прояснилась, появилась возможность повести на малярию решительное наступление.

Еще в 40-е годы XX века, т. е. сравнительно недавно, малярия была распространена гораздо шире, чем в наши дни. Встречалась она в Европе, в том числе на территории Украины, России и других

тогдашних республик СССР. Ежегодно в Советском Союзе регистрировалось до 7 млн больных малярией.

В 1955 году по инициативе и под эгидой Всемирной Организации Здравоохранения в разных странах, в том числе в Советском Союзе, была развернута грандиозная программа по борьбе с малярией. Была поставлена задача полной ликвидации очагов этой болезни. Для этого надо было, во-первых, выявить, изолировать от комаров и вылечить всех больных малярией и носителей малярии (тех людей, в крови которых есть плазмодии, но, в силу индивидуальных особенностей их организмов или просто хорошей иммунной системы, не болеющих). Во-вторых, надо было выявить все места выплода комаров рода *Anopheles* и ликвидировать комаров. В-третьих, следовало наладить контроль всех людей, въезжающих в страну из мест распространения малярии, и опять-таки изолировать и вылечить больных и носителей.

Надо сказать, что такая работа во многих странах, в том числе СССР, уже велась, хотя и в меньших масштабах. Поэтому довольно оперативно в каждом районе были созданы противомалярийные станции, где были специалисты по борьбе с малярийными комарами, специалисты по выявлению больных малярией и профилактике этой болезни. Была организована специальная карантинная служба на границе.

Была проведена колоссальная работа. Этому во многом способствовала разработка новых противомалярийных препаратов, причем, что очень важно, убивающих не только плазмодиев, но и избирательно уничтожающих гамонтов. Там, где возможно, водоемы обрабатывались инсектицидами (в основном, еще разрешенным тогда ДДТ). Применялось также «нефтевание»: в водоемы, где были обнаружены личинки и куколки анофелесов, добавлялись нефтепродукты, которые образовывали на поверхности воды пленку. Через нефтяную пленку личинки и куколки комаров, которым требуется атмосферный кислород, не могли дышать.

В южных регионах страны в водоемы, особенно рисовые чеки, выпускали рыбку гамбузию, которая питается личинками комаров, причем отдает явное предпочтение анофелесам. Эта рыбка выполняет свою работу настолько успешно, что на острове Корсика благодарные жители даже поставили гамбузии памятник за успехи в борьбе с малярией.

Граница тоже была «на замке». В результате больных вылечили, а комаров-переносчиков уничтожили. В СССР малярия как массовое заболевание была ликвидирована к 1963 году.

Подобную же работу проводили и в наиболее опасных регионах мира, например, в Индии. Здесь не удалось ликвидировать малярию, но применение инсектицидов позволило почти в четыре раза снизить заболеваемость и, соответственно, смертность. В период с 1955 по 1965 год заболеваемость малярией в мире снизилась с 250 до 115 млн случаев в год.

Правда, в 70-е годы XX века запретили использовать ДДТ, после чего начал наблюдаться рост заболеваемости, которая в мировом масштабе достигла 150 млн случаев в год.

Что касается СССР, то по окончании работы противомалярийные станции закрыли или перепрофилировали в санэпидстанции. Дорогостоящую борьбу с комарами прекратили, и они полностью восстановили свою численность. Так что теперь вся надежда на карантинную службу, которая, к счастью, пока со своими задачами справляется. Особенно к счастью потому, что сейчас известны штаммы малярийных плазмодиев, устойчивые к любым медикаментам, т. е. существует неизлечимая форма малярии. Поэтому, несмотря на все успехи медицины и биологии, проблема малярии остается актуальной. Поэтому и информация о возбудителе малярии, которая на какое-то время исчезла из школьных учебников, теперь совершенно оправданно туда вернулась. Соответственно, так много внимания уделяется этой проблеме и в данной книге.

Если говорить о «родственниках», то на самом деле малярию человека вызывают не один, а три вида плазмодиев. В зависимости от видовых особенностей жизненного цикла они вызывают разные формы малярии — трехдневную, четырехдневную, тропическую.

Что касается других споровиков, то все представители этой «семейки» ведут паразитический образ жизни. Известно около тысячи видов споровиков, которые паразитируют в беспозвоночных и позвоночных животных, и почти все они весьма патогенны и опасны.

Глава 4

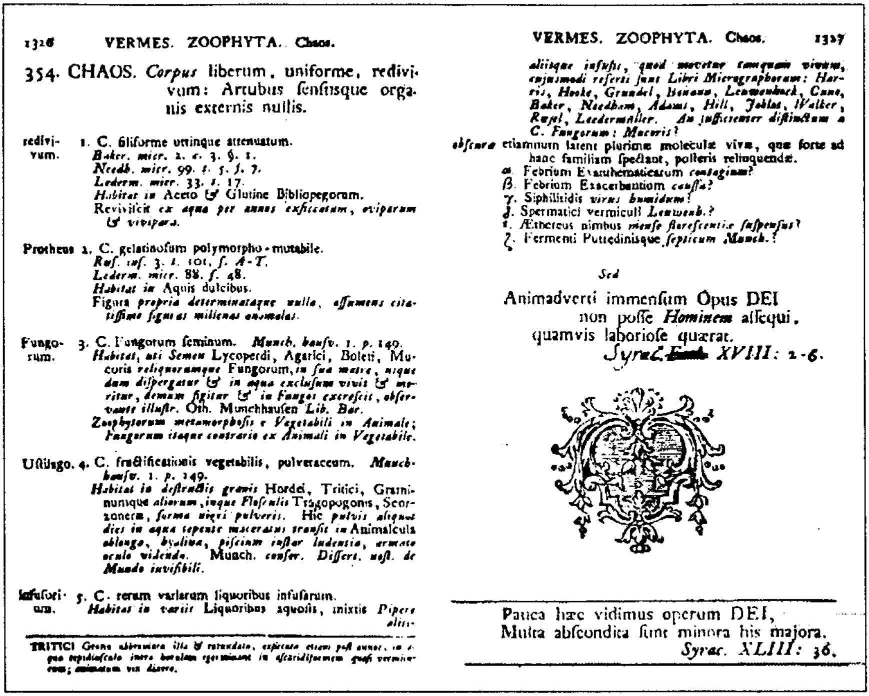
В НЕКОТОРОМ ЦАРСТВЕ...
ИЛИ В НЕКОТОРЫХ ЦАРСТВАХ?

Вот сидит он раз да смотрит через увеличительное стекло на каплю воды, взятой прямо из лужи. Батюшки мои, как эти зверушки копошились и хлопотали тут! Их были тысячи, и все они прыгали, скакали, кусались, щипались и пожирали друг друга.
— Но ведь это отвратительно! — вскричал старый Копун Хлопотун. — Нельзя ли их как-нибудь умиротворить, ввести у них порядок, чтобы всякий знал свое место и свои права?
Г. Х. Андерсен. Капля воды. 1847 г.

Существуют более или менее одноклеточные организмы, которые являются более или менее животными. Это описание может быть применено к довольно большому числу существ, которых те или иные авторитетные специалисты называют простейшими с большим или меньшим на то основанием[1].
Т. Джан,
американский протистолог, XX век

Хотелось бы сразу предупредить — эту главу было труднее всего писать, так что, возможно, будет и труднее всего читать. Дело в том, что она касается двух вопросов, на которые хотелось както ответить в рамках этой книги. Во-первых, что́ есть протисты: животные, растения или особое царство живых организмов, существующее наравне с царствами растений, грибов и животных?

[1] Перевод автора.



1326 VERMES. ZOOPHYTA. Chaos.

354. CHAOS. *Corpus* liberum, uniforme, redivivum: Artubus sensusque organis externis nullis.

redivivum. 1. C. filiforme utrinque attenuatum.
Baker. micr. 2. *c.* 3. §. 1.
Needh. micr. 99. *t.* 5. *f.* 7.
Lederm. micr. 33. *t.* 17.
Habitat in Aceto & Glutine Bibliopegorum.
Reviviscit *ex aqua per annos exsiccatum, oviparum & vivipara.*

Protheus 2. C. gelatinosum polymorpho-mutabile.
Ros. ins. 3. *t.* 101. *f. A-T.*
Lederm. micr. 88. *f.* 48.
Habitat in Aquis dulcibus.
Figura *propria determinataque nulla, assumens citatissime figuras millenas anomalas.*

Fungorum. 3. C. Fungorum seminum. *Munch. hausv.* 1. *p.* 149.
Habitat, uti Semen Lycoperdi, Agarici, Boleti, Mucoris *reliquorumque* Fungorum, *in sua matre, usque dum dispergatur & in aqua exclusum vivit & moritur, demum figitur & in Fungos excrescit, observante illustr.* Oth. Munchhausen *Lib. Bar.*
Zoophytorum metamorphosis e Vegetabili in Animale; Fungorum itaque contrario ex Animali in Vegetabile.

Ustilago. 4. C. fructificationis vegetabilis, pulveraceum. *Munchhausv.* 1. *p.* 149.
Habitat in destructis granis Hordei, Tritici, Graminumque *aliorum, inque Flosculis* Tragopogonis, Scorzonerae, *forma nigri pulveris.* Hic *pulvis aliquot dies in aqua tepente maceratus transit in* Animalcula *oblonga, hyalina, piscium instar ludentia, armato oculo videnda.* Munch. *censer. Dissert. nost. de Mundo invisibili.*

Infusorium. 5. C. rerum variarum liquoribus infusarum.
Habitat in variis Liquoribus aquosis, mixtis *Pipere aliis-*

TRITICI *Grana abbreviata illa & rotundata, exsiccata etiam post annos, in aqua tepidiuscula intra horulam egerminant in ascaridiformem quasi verminecum; animatum vix dicere.*

VERMES. ZOOPHYTA. Chaos. 1327

aliisque infusis, quod movetur tanquam vivum, cujusmodi referti sunt Libri Micrographorum: Harris, Hooke, Grundel, Benann, Leeuwenhoek, Cune, Baker, Needham, Adams, Hill, Joblot, Walker, Rusel, Leedermüller. An sufficienter distinctum a C. Fungorum: Mucoris?

obscura etiamnum latent plurimae moleculae vivae, quae forte ad hanc familiam spectant, posteris relinquendae.
α. Febrium Exanthematicarum *contagium?*
β. Febrium Exacerbantium *causa?*
γ. Siphilitidis *virus humidum?*
δ. Spermatici vermiculi *Leeuwenh.?*
ε. Æthereus nimbus *mense florescentiae suspensus?*
ζ. Fermenti Putredinisque *septicum Munch.?*

Sed

Animadverti immensum Opus DEI
non posse *Hominem* assequi,
quamvis laboriose quaerat.
Syrac. XVIII: 2-6.

Pauca hæc vidimus operum DEI,
Multa abscondita sunt minora his majora.
Syrac. XLIII: 36.

Страницы из «Системы природы» К. Линнея
с первыми в мире диагнозами простейших

Во-вторых, что происходит с систематикой простейших, почему она меняется с такой быстротой?

Действительно, если еще раз вернуться к школьному учебнику, то все просто — есть тип животных *Protozoa*, к которому относятся амебы, эвглены, инфузории и малярийные плазмодии. А посмотришь современную литературу — то речь идет о целом царстве Протисты (*Protista*), с десятками типов. Но и этого мало. Оказывается, что и царств простейших уже не одно, а несколько. Все новые системы мелькают как в калейдоскопе. Не то, что просто любознательные люди — даже профессионалы-зоологи (правда, специалисты по многоклеточным животным) порой утверждают, что протистологи сами не ведают, что творят! Так что, несмотря на «сказочное» название главы, на самом деле протистологам сейчас «не до сказок».

Попробуем разобраться, действительно ли то, что происходит в систематике простейших,— безответственное жонглирование

систематическими категориями высшего ранга, или это естественный процесс, который, в конце концов, приведет к относительно стабильному результату.

Опять на помощь может прийти исторический подход. Полезно сначала узнать, как сложилась «привычная» система Простейших, а потом — как она превратилась в столь «непривычную».

После того как ажиотаж у читающей публики, связанный с открытием Левенгуком «анималькулей», несколько поутих, ситуация с этими организмами стала в целом понятной — считалось, что это организмы, устроенные примерно так же, как известные тогда животные, только очень маленькие.

Правда, возможности тогдашней микроскопической техники были чрезвычайно ограничены, что не позволяло рассмотреть какие-либо детали строения «анималькулей». Поэтому отец систематики Карл Линней поместил первые диагнозы Простейших только в 12-е издание своей «Системы природы», опубликованное в 1766 году[1]. При этом простейших (вместе с некоторыми низшими грибами и водорослями) он отнес к классу Черви, семейству Зоофиты и нескольким видам рода *Chaos* (Хаос), название которого говорит само за себя. Диагноз одного из этих видов, судя по всему, амебы, приведен в качестве эпиграфа в разделе, посвященном обыкновенной амебе. Все остальные простейшие упомянуты в «Системе природы» под общим видовым названием *Chaos infusorium* с диагнозом: «Разнообразные объекты в жидких настоях. Обитают в разных водоносных жидкостях, в перцовых смесях и разных других настоях, движутся подобно живому».

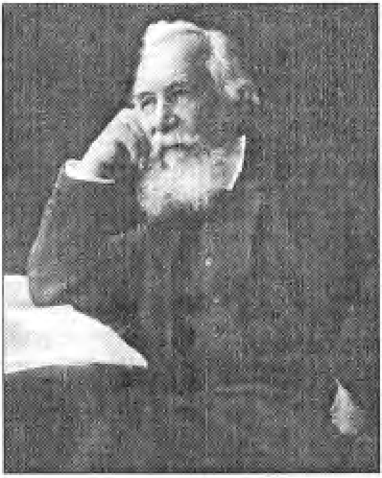
Но еще показательней комментарии, которыми Линней снабдил эти диагнозы: «...непонятные и еще скрытые многочисленные живые молекулы... Я заметил, что бесконечное Божье Деяние человеку невозможно постичь, как бы он не усердствовал в своих исканиях»[2].

Тем не менее, любознательные натуралисты продолжали «усердствовать в своих исканиях» даже там, где сам Линней не видел перспектив. И, при внимательном рассмотрении тех или иных «наливочных» животных, успешно находили и описывали у них сердце

---

[1] Следует признать, что на самом деле первое «линнеевское» описание протиста было опубликовано в 1758 году, когда Линней дал одной из амеб латинское название *Volvox chaos*, а уже позднее переместил этот вид в предложенный им род и переименовал его в *Chaos protheus*.

[2] Перевод Галины Воскобойник.



Эрнст Геккель

(сократительную вакуоль), рты с зубами (клеточный рот), как это сделал в XVIII веке француз Жобло. В первой половине XIX века концепция сходства «анималькулей» с животными была логически оформлена в книге знаменитого немецкого натуралиста X. Эренберга «Инфузории как совершенные организмы» (1838).

Но, критикуя Жобло или Эренберга, не следует забывать, что «инфузории» того времени — это любые организмы, которых можно было обнаружить в настое, т. е. не только простейшие, но и многоклеточные. А найти кишечник, глаза, половые железы или рот у коловраток, тихоходок, мелких ресничных червей-турбеллярий и других микроскопических обитателей воды и почвы вполне возможно. Так что не так уж Эренберг был неправ.

Но почти одновременно с публикацией книги Эренберга была сформулирована клеточная теория, совершенствовались методы микроскопии, и все большее число ученых приходило к пониманию того, что большинство «анималькулей» одноклеточны. Это понимание обобщил в своем труде немецкий физиолог и зоолог Карл фон Зибольд в 1845 году. Он на большом материале доказал, что тело простейших состоит из одной клетки, которая обеспечивает все функции организма — питание, выделение, подвижность, раздражимость и размножение. На основании этого свойства «инфузорий» — одноклеточности — Зибольд предложил для них особый тип — *Protozoa*, название которого может быть переведено как «первые животные» (от греческого *proto* — первые и *zoia* — животные).

Очень быстро оказалось, что часть «анималькулей» — это зеленые автотрофные организмы, подобные растениям, и ими как объектами исследования начали заниматься ботаники. В результате многоклеточные и одноклеточные «инфузории» были распределены по двум принятым тогда царствам живых организмов: Животные (*Animalia*) и Растения (*Planta*).

Правда, стройность этой системы несколько нарушал тот факт, что есть одноклеточные организмы, подобные эвглене, которые способны питаться и как автотрофы (растения), и как гетеротрофы

Отто Бючли

(животные). Кроме того, не вписывались в эту схему грибы, которые неподвижны, как растения, но гетеротрофны. Некоторых беспокоил вопрос, что делать с такими химерами, не позволяющими провести четкую границу между царствами.

Выход находили во введении дополнительных царств. Таких предложений было несколько, но наибольшую известность получила идея великого биолога Эрнста Геккеля, который в 1866 году объединил всех одноклеточных с видимым ядром в третье царство Протиста (*Protista*). Сюда же он отнес низшие грибы и губок.

Надо сказать, что только недавно удивительная прозорливость Геккеля стала очевидной. Его же современники идею не восприняли, критиковали ее за помещение в «протисты» «явных растений» — грибов, за отнесение к протистам «зоофитов» (в такую группу раньше объединяли неподвижных, прикрепленных, «растениеподобных» животных) — губок. Так что еще долгие годы простейшие по-прежнему были разделены на «одноклеточных водорослей» и «одноклеточных животных».

Когда проблему таким путем «решили», настало время построения системы простейших — «ввести у них порядок, чтобы всякий знал свое место и свои права». Попытки это сделать предпринимали разные специалисты, но лучше всего это получилось у выдающегося немецкого зоолога Отто Бючли.

Бючли является автором первого в мире учебника протозоологии. В этом капитальном труде он использовал то, что позволяла увидеть оптика — особенности морфологии, движения и питания гетеротрофных простейших. Проанализировав всю имевшуюся к концу XIX века информацию о простейших, Бючли в 1881 году выделил среди имеющегося разнообразия форм четыре типа организации клетки. Формы с амебоидным движением, имеющие псевдоподии той или иной формы, Бючли считал саркодами. Жгутиковые организмы с более-менее постоянной формой тела соответствовали монадам. Простейшие с ресничной формой движения были отнесены к инфузориям. Наконец, общей чертой для внешне необычайно разнообразных паразитических безжгутиковых

простейших Бючли считал способность к образованию расселительных стадий — спор. Соответственно, тип *Protozoa* он подразделил на четыре класса: Саркодовые, Жгутиковые, Цилиаты (Инфузории) и Споровики.

Система Бючли была выдающимся достижением. Наконец в линнеевском «хаосе» был наведен порядок, причем настолько удачно, что система долго существовала практически без изменений. Только в 1964 году она подверглась некоторым изменениям, которые были связаны с тем, что в класс споровиков, как оказалось, попали несколько неродственных групп протистов, и он был разделен на собственно споровиков, куда попали возбудители малярии и их родственники, и книдоспоридий, куда попали все остальные «споровики». Чуть позже книдоспоридий тоже разделили на классы микро- и миксоспоридий. Также открытие многочисленных амебоидных организмов, имеющих жгутики или жгутиковые стадии развития, затрудняло разделение «саркод» и «монад», поэтому эти две группы объединили в класс Саркомастигофора. Если не считать этих изменений, то предложенная Отто Бючли схема не подвергалась существенной ревизии с 1881 до 1980 года, т. е. почти сто лет!

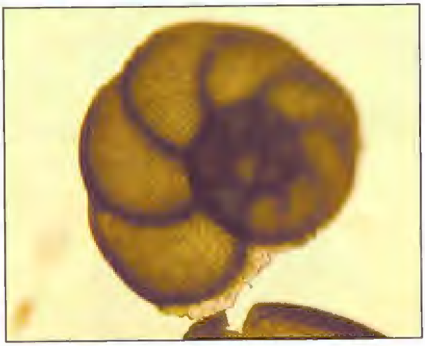
Система Бючли вошла в университетские и школьные программы, так как была очень логичной и понятной, а за десятилетия стала еще и привычной. Но наука не стояла на месте, появились новые методы. Так, в начале 50-х годов XX века в протозоологии начали активно использовать для исследований строения протистов сначала трансмиссивную, а позже и сканирующую электронную микроскопию. Казалось бы, результаты применения этих методов должны были естественно «лечь» на существующую систему простейших, разве что углубив наши знания о строении этих организмов, их физиологии и биологии. Но, как это часто бывает в науке, на самом деле этим прокладывался «подкоп» под устоявшиеся взгляды на систематику простейших и на природу этих организмов.

Результаты электронной микроскопии простейших, прежде всего, показали, что имеющиеся в их клеточном теле органеллы, характерные для всех эукариот, не у всех протистов одинаковы.

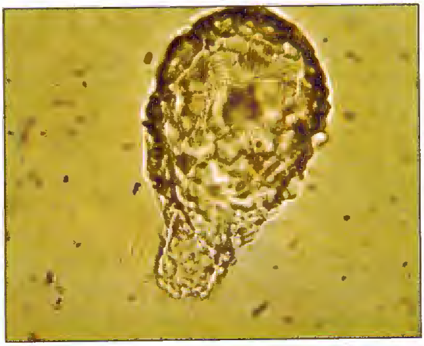
Так, неодинаковыми оказались митохондрии. Выяснилось, что классическая организация этих органелл (двойная мембрана с внутренними выростами-кристами) имеет варианты, проявляющиеся в форме крист. Имеются кристы не только пластинчатые, как нарисовано в школьном учебнике, но еще и трубчатые, дисковидные, пузырьковидные и т.п. Оказалось, что для разных систематических групп простейших характерны разные типы крист и их по этому

Опалины — многожгутиковые и многоядерные простейшие, паразиты лягушек. Их название происходит от того, что движение сотен жгутиков создает эффект, похожий на блеск поверхности полудрагоценного камня — опала (фото автора)

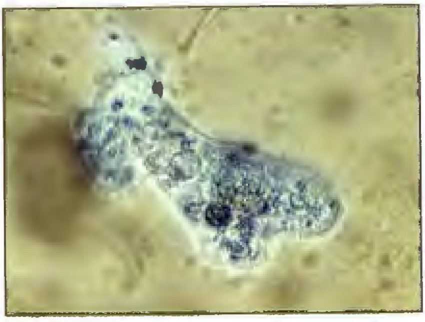
Локомоторная форма моноподиальной амебы. На заднем конце тела виден округлый уроид (фото автора)



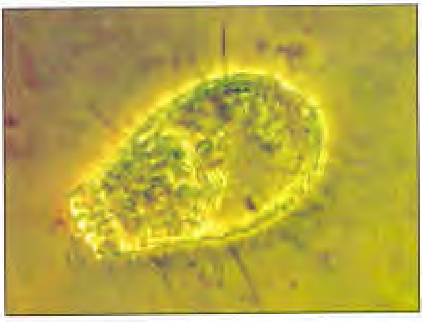
Ископаемая фораминифера из отложений мелового периода (фото автора)



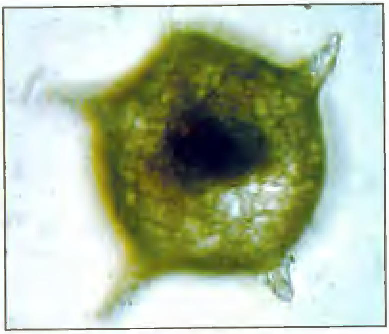
Раковина амебы *Difflugia corona* построена из песчинок (фото автора)



Опознать амебу-протея можно только в движении (фото автора)



Раковина амебы *Euglypha* может иметь тонкие шипы (фото Оксаны Алпатовой)



Раковина амебы *Centropyxis* снабжена толстыми шипами (фото Оксаны Алпатовой)

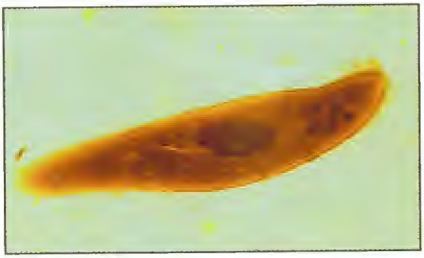
Еще один представитель «саркод» — солнечник (фото Владимира Гринева)

Раковинные амебы не так разнообразны, как радиолярии или фораминиферы, но они тоже могут быть причудливой формы, как *Lesquereusia* (фото Оксаны Алпатовой)

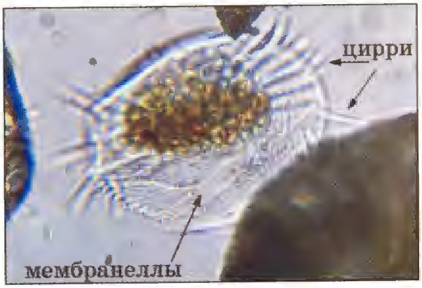
Эвглена (*Euglena spirogyra*) (фото автора). Слева вверху видна оранжевая точка — стигма

Раковина амебы *Arcella*, в основном, органическая (фото Оксаны Алпатовой)

Эвглена (*Euglena spirogyra*) демонстрирует свою способность к эвгленоидному движению (метаболии) (фото автора)



Инфузория-туфелька. Вегетативное ядро (макронуклеус) окрашено специальным красителем (фото автора)



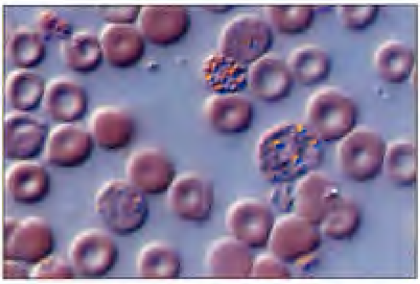
У инфузории *Euplotes* хорошо видны и цирри, и мембранеллы (фото автора)

Брюхоресничная инфузория *Holosticha*. На переднем и заднем концах ее клеточного тела видны цирри (фото автора)

Хищная сидячая инфузория-суктория *Tokophrya quadripartita*. На четырех выростах верхней поверхности клетки расположены десятки щупалец (фото автора)

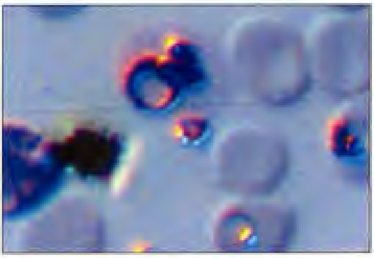
Брюхоресничная инфузория *Urostyla*. У нее цирри видны только на заднем конце тела (фото автора)

Кругоресничная инфузория *Epistylis chrisemides* из очистных сооружений. Колония насчитывает 13 «бубенчиков» (фото Людмилы Константиненко)



Мазок крови больного малярией. В пораженных эритроцитах видны многочисленные «зернышки» — плазмодии (фото автора)

Парк скульптур фораминифер, главная аллея (фото Чжуй Ченг)



Именно такие «колечки» увидел Лаверан в эритроцитах людей, болеющих малярией (фото автора)

Парк скульптур фораминифер (фото Чжуй Ченг)

Образцы сувениров в виде раковин фораминифер (фото Чжуй Ченг)

Пять особей солнечников объединились, образовав своеобразную ловчую сеть, вероятно, для поимки более крупной, чем они, добычи (фото автора)

признаку можно различать, причем различия эти достаточно четкие и стабильные. Появилась и была подтверждена многочисленными фактами идея об эволюционном консерватизме типов крист митохондрий. Это свидетельствовало, о том, что от гипотетического общего предка эукариот ведет не одна эволюционная линия, которая потом делится на ветви, соответствующие животным и растениям, а несколько. Каждой из этих ветвей соответствует свой тип крист.

Кроме того, оказалось, что и такой фундаментальный процесс, как митотическое деление клетки, у разных протистов тоже проходит по-разному, и существует несколько типов митоза.

Почти одновременно стало понятным, что типов организации клетки у простейших больше четырех. Очевидным стало то, что нельзя было обнаружить на оптическом уровне,— у разных групп простейших имеются уникальные наборы клеточных органелл, которых нет у других групп. То есть для отдельных крупных групп простейших характерен свой общий план строения организма. А наличие особого общего плана строения — это характеристика, на основании которой выделяют типы, а не классы. И если не игнорировать данные электронной микроскопии, то неизбежен вывод, что почти каждый из классов, предложенных Бючли,— это на самом деле несколько типов.

Прекрасная логичная схема Бючли начала медленно, но уверенно разваливаться, так как становилось ясным, что, например, многих саркодовых, жгутиковых и споровиков объединяет только внешнее, конвергентное сходство.

Но выяснилось и другое: очень близкие по строению жгутиконосцы, которых по степени их морфологического сходства надо было бы относить к одному семейству или даже роду, оказались в разных царствах только на основании того, что у одних видов есть хлоропласты, а у других нет.

Неизбежным стал существенный пересмотр взглядов на систему протистов, хотя было понятно, что такие изменения будут болезненно восприняты, особенно зоологами непротистологами, поколения которых сто лет учились по учебникам, построенным по системе Бючли. Еще тяжелее пришлось бы преподавателям университетов.

Но игнорировать новейшие достижения науки было невозможно, и, когда накопившиеся факты уже слишком большим грузом «лежали» на устоявшейся схеме, в 1980 году Международная комиссия по номенклатуре и систематике, в состав которой входили ведущие специалисты с мировым именем, опубликовала систему

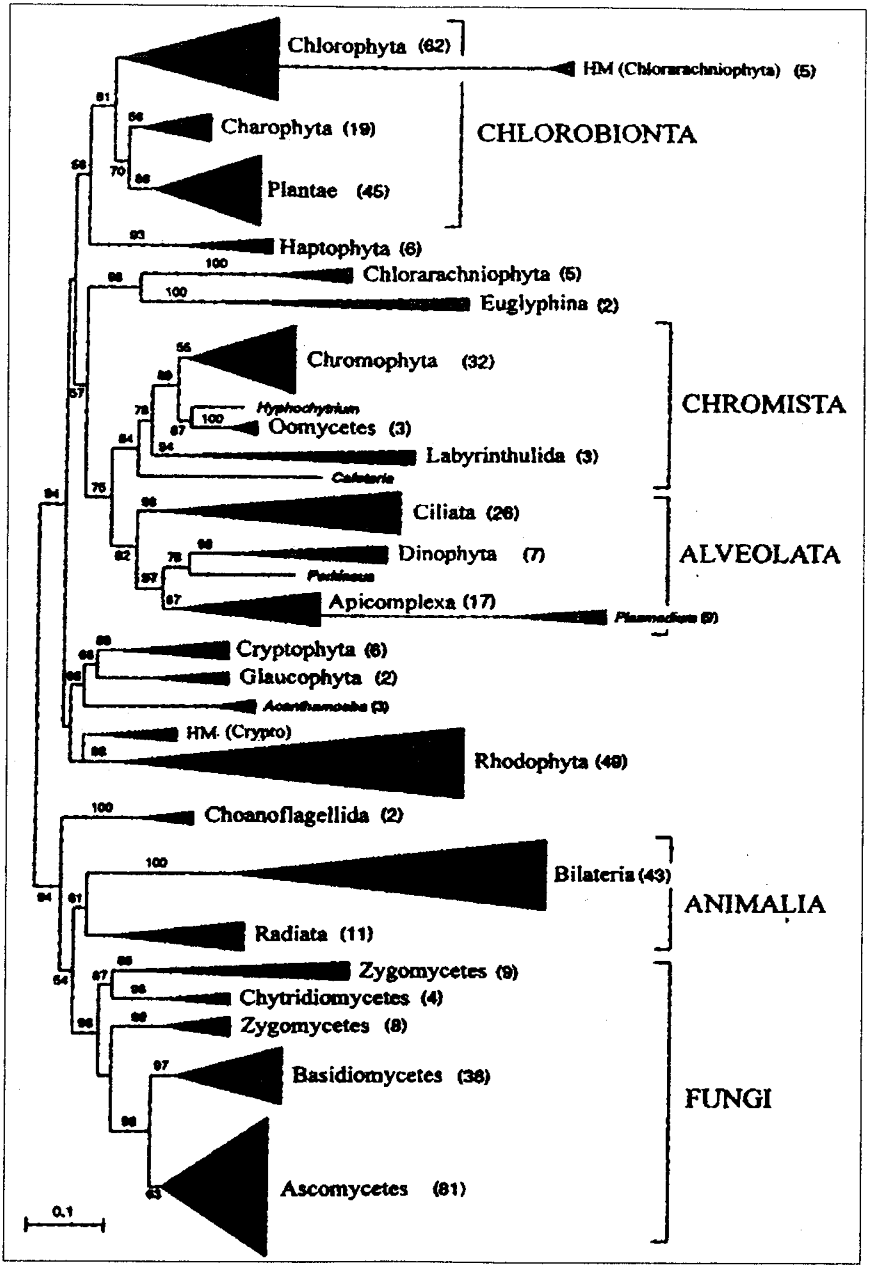
живых организмов, известную под названием «система Ливайна с соавторами». В этой системе была через 120 лет на современном уровне возрождена идея Геккеля. Все живые организмы были подразделены на пять царств: Монера (Прокариоты), Протиста (Простейшие), Планта (Растения), Фунги (Грибы) и Анималия (Животные). Царство Протиста делилось на семь типов, которые во многом совпадали с классами Бючли. Например, саркодовые и жгутиковые оказались в типе Саркомастигофоры, где было два соответствующих им подтипа, был тип Цилиофоры (Инфузории), ранг типов получили три класса бывших споровиков. То, что новая система во многом опиралась на старую, способствовало тому, что ее легко приняли и начали преподавать в вузах.

Но, в отличие от времени Бючли, сейчас новые методы исследований развиваются гораздо быстрее. Еще не высохла типографская краска на тираже журнала с новой системой, как начали публиковаться результаты исследований с использованием новых подходов к изучению родственных связей между группами организмов — на базе методов молекулярной генетики. Особенно крупный прорыв был связан с разработкой методов секвенирования ДНК.

Термин «секвенирование» происходит от английского слова «сиквенс» (sequence) — последовательность. Этим термином обозначают группу методов определения последовательности нуклеотидов в молекуле ДНК или последовательности аминокислот в молекуле белка. Существуют такие методы уже 30–40 лет, но в последние годы они были значительно усовершенствованы и компьютеризованы. Разработаны специальные автоматизированные установки — секвенаторы, что позволило сделать эти методы значительно более доступными. Применение секвенирования в протистологии породило буквально лавину информации о родственных связях между разными представителями протистов. Правда, в ряде случаев оказалось, что родства нет там, где оно предполагалось ранее.

В результате данные молекулярной генетики потребовали уже полного отказа от системы Бючли, так как некоторые типичные «саркоды» или «монады» оказались генетически совершенно не родственными. Чем больше новых видов протистов привлекали к генетическим исследованиям, тем больше не совпадали системы, построенные по данным электронной микроскопии и молекулярной генетики. Общая эволюционная линия эукариотных организмов распалась на пять или шесть независимых ветвей.

Три из этих ветвей соответствуют царствам растений, животных и грибов. В каждую из оставшихся попали по нескольку недавно выделенных типов простейших. Поскольку по своему рангу эти



Филогенетическое древо эукариот,
построенное на основе данных молекулярной генетики

ветви оказались равны перечисленным выше трем «старым» царствам, естественным было предположить, что их тоже надо именовать царствами. Так поначалу и поступили.

Но пришлось искать объяснение объединению некоторых, совершенно, казалось бы, неродственных протистов вместе на молекулярных схемах. Наиболее «просто» это можно было объяснить, привлекая концепцию симбиогенеза.

Первым эту концепцию сформулировал известный российский биолог К. С. Мережковский. По его мнению, автотрофная клетка одноклеточных водорослей образовалась за счет того, что у каких-то гетеротрофных протистов были автотрофные симбионты — сине-зеленые водоросли. Постепенно взаимосвязь организма хозяина и симбионта стала настолько тесной, что они утратили свои индивидуальности и стали единой клеткой-организмом. Так, по мнению Мережковского, за счет симбиогенеза образовались пластиды.

Во времена Мережковского (начало XX века) не было понятий «прокариоты» и «эукариоты». В 60–70-е годы того же столетия, когда такие термины стали общепринятыми, с помощью концепции симбиогенеза уже объясняли происхождение эукариотной клетки. Американка Линн Маргелис (независимо от Мережковского, работ которого не знала) предположила, что основные клеточные органеллы эукариот, такие как пластиды, ядро, митохондрии и, в результате, собственно эукариотная клетка, сформировались за счет нескольких симбиогенезов различных прокариотных организмов.

Естественно было предположить, что разные крупные группы протистов тоже произошли за счет объединения в один организм совершенно разных по своей природе существ. Таким образом, то, что, например, такие традиционные «животные» протисты как трипаносомы оказались в одной группе с «растениями» — эвгленами, уже не выглядело парадоксально.

Можно соглашаться с концепцией симбиогенеза или нет (как автор этих строк), но ее применение сняло у протистологов психологический барьер перед созданием новых многоцарственных систем простейших, причем совершенно без оглядки на старые и традиционные представления по этому вопросу.

Однако проблема заключается в том, что нельзя «прочесть» весь геном организма. Методы секвенирования пока позволяют «читать» только короткие цепочки нуклеотидов. Потом нужно много коротких участков «состыковывать» между собой, а методика эта чрезвычайно дорогая и трудоемкая. Так что пока полностью «осилили»

только геном человека и еще около десятка видов. В остальных случаях ограничиваются тем, что берут определенные участки генома, которые считаются эволюционно консервативными, подобно тому, как консервативным считают тип крист митохондрий.

Это последнее обстоятельство несколько поумерило пыл даже тех исследователей, которые считают результаты секвенирования и их последующей компьютерной обработки непогрешимыми. Ведь привлечение новых участков генома к анализу привело к тому, что в пределах общего эволюционного древа эукариот начали выделяться уже не шесть, а до 70 независимых ветвей! Такая схема уже никак не согласовывалась с системой, базирующейся на строении организмов.

Еще более усложняет ситуацию открытие все новых видов так называемых пикопротистов, которые по своим размерам (1–2 мкм) сравнимы с бактериями и, возможно, принимались за них при исследованиях с помощью оптической микроскопии. На самом деле это «полноценные» эукариоты, и, вполне вероятно, число таких видов сравнимо с общим числом известных более крупных протистов, т. е. в пределах «некоторого царства» простейших существует еще целый мир почти не известных нам организмов! Пока трудно предположить, сколько линий развития еще добавится, когда будут изучены геномы пикопротистов.

Шарль Де Голль жаловался, что трудно управлять государством, где имеется 400 сортов сыра. Если бы генерал был не простым президентом, а протистологом, которому необходимо разместить в сколько-нибудь логическом порядке 70 независимых эволюционных линий, он бы, возможно, предпочел заняться более легким делом — управлением Францией с ее сортами сыра.

Но протистологов в президенты не приглашают, и правильно делают. Все равно не пойдут — менять специальность поздно, да и не хочется бросать столь интересное дело.

А для временного разрешения проблемы протистологам пришлось искать компромиссы между собой. Первый компромисс был найден в системе образования. Профессоры университетов сначала преподавали не систему групп (т. е. царств) простейших, а систему молекулярных кластеров. А когда и таковых стало многовато, начали использовать в преподавании адаптированные системы, в которых протисты сгруппированы по типам строения клетки, как это было у Бючли. Это не означает возвращения к системе Бючли, но облегчает восприятие информации учащимися. Такую адаптированную систему предложил известный протистолог, санкт-петербургский профессор Сергей Алексеевич Карпов, ее

использовали в новом издании учебника «Зоология беспозвоночных», подготовленном в Киевском национальном университете.

Но что делать исследователям, которым негоже пользоваться адаптированными системами? Чтобы как-то помочь последним, в 2005 году еще раз собралась группа ведущих специалистов-протистологов (в нее входил и профессор Карпов). Результатом явилась новая компромиссная система эукариот, известная как система Эдля с соавторами. В этой системе, построенной, в основном, на данных секвенирования, все эукариоты (не только протисты) относятся к шести кластерам. Далее эти кластеры подразделены на группы более низких рангов. Характерной особенностью этой системы является то, что в ней нет систематических категорий высокого ранга. Ранг обозначен звездочками, и чем их меньше, тем систематический ранг выше.

Сделано это с целью избежать выделения дополнительных царств организмов, пока нет четкого ответа на вопрос, что считать царством. Поэтому в тексте данной работы нет ни слова «царство» (*kingdom*), ни даже слова «тип» (*phylum*).

Означает ли принятие системы Эдля, что протистологи не знают, что делать с новой информацией? Конечно, нет. Просто темпы накопления информации пока превышают темпы ее осмысления, и был принят некий промежуточный, рабочий вариант, которым можно пользоваться, пока ситуация не стабилизируется.

На самом деле то, что происходит в систематике простейших, вполне обычно и нормально. То же самое происходило (и происходит) с системами других организмов. Чем больше люди узнавали о строении тех или иных организмов, тем чаще оказывалось, что различные их группы объединены только по внешнему, конвергентному сходству. Так, в течение XIX и в начале XX века класс Гады распался на классы Земноводные и Пресмыкающиеся, «Червей» подразделили на несколько типов, то же самое еще раньше произошло с «зоофитами». Только анатомировать многоклеточных животных ученые научились давно, изменения в системе происходили постепенно и «в прошлом», поэтому здесь мы имеем дело с уже более-менее устоявшимися взглядами. Правда, применение молекулярных технологий сказалось и на систематике многоклеточных животных, но, по крайней мере, пока не привело к значительному изменению их системы.

Что касается простейших, то основные достижения в изучении их строения и генетики были получены во второй половине XX века, и новая информация продолжает чрезвычайно интенсивно поступать и сейчас. Это невозможно не учитывать, что приводит

ко все новым и новым версиям системы. В результате и выглядит нынешняя ситуация в протистологии как революционная.

Поскольку эта книга популярная, не будем особенно погружаться в дебри систематики, а приведем здесь адаптированную систему Сергея Алексеевича Карпова с самыми короткими пояснениями:

Жгутиконосцы (представители этой группы имеют один или большее число жгутиков)

Тип *Choanomonada* (воротничковые жгутиконосцы).

Тип *Euglenozoa* (эвглены и трипаносомы).

Тип *Polymastigota* (многожгутиковые протисты, такие как лямблии, обитатели кишечника тараканов и термитов и др.).

Тип *Opalinata* (многожгутиковые и многоядерные паразиты земноводных).

Тип *Labyrinthomorpha* (загадочные обитатели поверхности гниющих водорослей, живут в виде колоний (лабиринтов), по которым с помощью скользящего движения перемещаются веретеновидные клетки. Еще парадоксальнее то, что лабиринт представляет собой (!) наружную эндоплазматическую сеть).

Саркодовые (организмы, среди которых преобладают амебоидные формы)

Тип *Foraminifera* (фораминиферы — морские простейшие с известковой наружной раковиной).

Тип *Heliozoa* (солнечники — сферические простейшие с радиально расположенными псевдоподиями).

Тип *Amoebozoa* (разнообразные организмы, для которых характерно амебоидное движение, лишенные раковины или раковинные).

Радиолярии (морские протисты с внутренним скелетом из кремния или сернокислого стронция)

Альвеолаты (группа протистов, под плазматической мембраной которых имеются пузырьки-альвеолы)

Тип *Dinophyta* (панцирные жгутиконосцы или динофлагеллаты).

Тип *Ciliophora* (инфузории — протисты, которых характеризуют ресничная форма движения и ядерный дуализм).

Тип *Apicomlexa* (протисты, клетка которых на переднем конце имеет специальный комплекс органелл для внедрения в клетку хозяина. В тип объединены паразитические организмы — споровики, такие как малярийный плазмодий).

Микроспоридии (внутриклеточные паразитические протисты, имеющие расселительную стадию — спору; группа включает один тип)

Тип *Microsporidia*.

Миксоспоридии (тканевые паразиты, в основном, рыб и водных беспозвоночных животных; группа включает один тип)

Тип *Myxozoa* (паразитические организмы, имеющие стадию споры, которая, в отличие от микроспоридий, многоклеточна. Паразитирующая стадия также состоит из двух клеток — вегетативной и генеративной. Молекулярные технологии показали, что миксоспоридии находятся в родстве с кишечнополостными. Вполне возможно, что за это их «исключат» из протистов и «объявят» многоклеточными животными).

Глава 5

КЛЕТКА-ОРГАНИЗМ

То, что простейшие кажутся
простыми, не позволяет
считать их примитивными[1].
Г. Сэндон. Эссе о протозоологии

Разве неправ был Генри Сэндон? Действительно, вся «простота» протистов сводится к тому, что они одноклеточны. Но какая же сложная эта единственная клетка! Еще Карл фон Зибольд заметил, что клетка простейших организована сложнее, чем клетка многоклеточных животных.

Пока потомки тех простейших, которые стали многоклеточными, проходили свой длиннейший эволюционный путь, дав попутно начало великому многообразию современных растений, грибов и животных (и нам в том числе), те протисты, которые многоклеточными не стали, тоже не стояли на месте. Они продолжали адаптироваться к меняющейся окружающей среде, эволюционировать, достигая в своем строении возможного совершенства. Современные протисты, вероятно, не меньше отличаются от своих предков, чем мы от австралопитеков. А может, и больше, так как у них было гораздо больше времени на эволюцию.

Мы уже упоминали ископаемых простейших — фораминифер и радиолярий. Находили простейших (инфузорий и эвглен) и в янтаре. Но это внешне вполне современные организмы. Пока не удалось найти протистов в достаточно древних отложениях, чтобы узнать, как выглядели их примитивные формы. Можно только предполагать, какими они были, сравнивая разных современных протистов между собой. Это сложная и кропотливая работа, рассказу о которой можно посвятить отдельную книгу. Так что ограничимся тем, что мы знаем о строении и функционировании клетки-организма, или, как еще пишут, клеточного тела современных протистов. Ну, а поскольку мы уже договорились, что простейшие сложно устроены, придется смириться с тем, что глава об их «устройстве» тоже непростая.

---

[1] Перевод автора.

Форма тела

Описание любого организма принято начинать с характеристики формы тела. Если взять первый том «Протисты» из серии «Руководство по зоологии», которая издается Российской Академией Наук, то там можно прочесть следующее: «Дать общую характеристику формы клетки простейших невозможно». Действительно, форма клеток у этих организмов необыкновенно разнообразна. Среди простейших есть сферические и четырехугольные, овальные и спиралевидные. Почти все разнообразие форм тела, известное для живых организмов, представлено у простейших, не говоря уже об амебах, которые вообще постоянно меняют форму тела.

Надо сказать, что среди простейших имеются виды удивительно красивые и необычные, форма клеточного тела которых отвечает самым строгим эстетическим критериям. Недаром простейшие занимают достойное место в альбоме Геккеля «Красота форм в природе», часть иллюстраций из которого используется в этой книге.

Разнообразия форм одних только фораминифер (ископаемых и современных) хватило, чтобы сотрудница Института океанологии Китайской Академии Наук, протистолог и скульптор, профессор Чжуй Ченг разработала более 200 моделей, служащих основой для дизайна сувениров, ювелирных изделий, светильников, которые сейчас выпускаются в Китае. Кроме того, в городе Чшуншань по ее инициативе создан парк скульптур фораминифер (114 скульптур), который с удовольствием посещают многочисленные туристы. При этом Чжуй Ченг и ее последователям еще надолго хватит форм этих протистов для дизайна, так как известно около 40 тыс. их ископаемых видов и 6 тыс. современных.

Движение

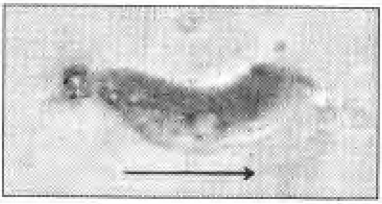
Снаружи клеточного тела протистов можно видеть органеллы, с помощью которых они движутся, их еще называют «локомоторные» органеллы. В зависимости от способа движения, это псевдоподии (тогда движение называют амебоидным), жгутики или реснички (движение, соответственно, жгутиковое или ресничное), или, если движение скользящее, их нет совсем.

Мы уже твердо знаем, кто перемещается с помощью амебоидного движения. Казалось бы, что может быть проще движения амебы? Амеба выпускает ложноножку и как бы перетекает в нее, двигаясь, таким образом, в нужном ей направлении.

Изложив все это в учебниках, протистологи перешли к попыткам выяснить — а как образуются ложноножки? Казалось,

достаточно это установить — и механизмом движения амебы можно больше не заниматься.

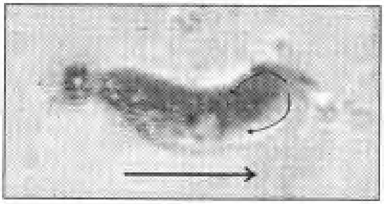
Еще в начале XX века появились представления о механизме «потока под давлением». Автор этой гипотезы С. Маст уподобил клетку амебы чему-то вроде вытянутого воздушного шарика. Надавливаешь его с одной стороны — он раздувается с другой. Вот вам и псевдоподия. Амебе остается только в нее «перетечь» — и клетка двинулась с места. Действительно, моноподиальные амебы (образующие единственную псевдоподию) при движении и правда похожи на вытянутый воздушный шарик. Кроме того, в клетках амеб нашли актин и миозин — белки, обеспечивающие сокращение. Теперь было чем «сжать» задний конец клетки. Такое простое объяснение было очень привлекательным, попало во все учебники для студентов, и его не пытались проверять более 30 лет.



Согласно гипотезе «потока под давлением», зона генерации движения цитоплазмы (показана более жирными стрелками) находится в задней части клетки (фото автора)

Все так и продолжалось, пока Р. Аллен не раздавил случайно амебу, повредив при этом ее клеточную мембрану. Каково же было его удивление, когда оказалось, что через поврежденный участок мембраны вытекает цитоплазма, а на другом конце клетки успешно формируется псевдоподия! Как же так — «шарик-то лопнул», т. е. никакого давления в клетке быть не может! Кроме того, «поток под давлением» не дает объяснения, как одновременно образуются несколько псевдоподий. Пришлось искать другое объяснение. В результате Аллен сформулировал другую гипотезу — «расширения фронтальной зоны».

У амебы протоплазма переливается в тот конец клетки, который находится впереди (по отношению к направлению перемещения клетки). От этого переднего конца поток протоплазмы направляется, подобно струе фонтана, в стороны, превращаясь затем в неподвижное вещество (гель). На заднем конце



Согласно гипотезе «расширения фронтальной зоны», наоборот, зона генерации движения цитоплазмы (показана более жирными стрелками) находится в передней части клетки (фото автора)

клетки происходят события прямо противоположного характера: гель превращается в текучую протоплазму, которая образует поток, направляющийся вперед. Таким образом формируется псевдоподия. По мнению Аллена, при этом протоплазма проталкивается вперед под влиянием сокращения геля в месте его образования, т. е. в передней части клетки — фронтальной зоне, а не задней. Таким путем можно и несколько псевдоподий сразу сформировать.

Теперь, казалось бы, настало время длительного господства гипотезы Аллена. Именно ее стали учить студенты в вузах. Но «доверие» ученых к простым объяснениям амебоидного движения уже поколебалось. Зачем амебоидной клетке актин и миозин, если движение осуществляется за счет перехода золя в гель и обратно? Кроме того, для движения по поверхности необходимо еще и сцепление с ней!

Давайте проведем мысленный эксперимент. Представьте себе, что вам нужно ползком передвигаться по гладкому скользкому льду. Как, получается? Не очень... Можно, конечно, катиться («перетекать» в псевдоподию). Легче, но тоже «не очень», особенно если учесть, что у вас приличный вес, который обеспечивает давление на ледяную поверхность, т. е. какое-то с ней сцепление, и вы не в воде, в отличие от амебы. У амебы вдобавок плотность практически такая же, как у воды, и на нее действует архимедова сила, отрывающая клетку от поверхности. Как тут ползти, если норовишь уплыть?

Так что вскоре стало понятно, что нужно искать механизмы, обеспечивающие сцепление клетки с поверхностью, по которой она движется. Пути решения проблемы подсказало изучение другой, еще более загадочной формы движения протистов — скольжения.

Эта форма движения наблюдается у паразитических простейших, малярийных плазмодиев, паразитов насекомых — грегарин и некоторых других. Клетки этих организмов движутся по поверхности субстрата, при этом у них отсутствуют органеллы движения и форма клеточного тела никак не меняется.

Долгое время предполагали, что движущей силой такого движения простейших является направленное выделение слизи. Потом считали, что поступательное движение обеспечивается ундулирующим движением продольных складок на поверхности клеточной мембраны. Однако у большинства простейших, способных к скользящему движению, таких складок нет.

Скользящее движение оставалось загадкой до исследований британских ученых Т. Прэстона и К. Кинга, проведенных в конце 90-х годов прошлого века. Эти авторы предположили, что между

нижней поверхностью клетки простейшего и поверхностью субстрата, по которому оно ползет, существует взаимодействие на молекулярном уровне. По их мнению, на поверхности клетки имеются особые участки, которые как бы «цепляются» за молекулы субстрата. Эти участки могут потом перемещаться по мембране в направлении, противоположном движению, а за счет того, что они «сцеплены» с субстратом, клетка получает поступательное движение вперед, не меняя формы и без локомоторных органелл. Получается нечто похожее на гусеницу танка, в роли которой выступает вся поверхность клетки.

Проверили эту гипотезу, «обсыпав» клетки простейших крошечными (около одного микрометра диаметром) пластиковыми шариками. Оказалось, что такие шарики, во-первых, прикрепляются к поверхности клетки, а во-вторых — движутся по ней. Это подтвердило наличие на поверхности клетки зон взаимодействия с субстратом, которые могут двигаться.

Но на этом Прэстон и Кинг не остановились. Их заинтересовал и возможный механизм, который приводит к перемещению взаимодействующих с субстратом участков по клеточной мембране, и такая модель тоже была ими предложена.

Мы уже упоминали о наличии актина и миозина у амеб. Прэстон и Кинг считают, что и при скользящем движении без этих белков не обходится. Проверили это просто — добавив в среду со скользящими простейшими наркотическое вещество цитохалазин, которое подавляет взаимодействие актина и миозина. В результате движение клеток прекратилось (как и движение пластиковых шариков по поверхности клеток).

Схема скольжения по Прэстону и Кингу выглядит следующим образом. Под клеточной мембраной расположены молекулы миозина, которые одним концом связаны со сцепленными с субстратом молекулами на поверхности мембраны. Противоположные концы молекул миозина направлены к актиновым филаментам, расположенным вдоль поверхности клетки. За счет энергии молекул АТФ эти концы молекул миозина скользят относительно филаментов и «тянут» молекулы на поверхности мембраны, что и обеспечивает движение.

Вполне возможно, что и клетка амебы движется за счет такого же механизма. Но возникает вопрос — а зачем тогда псевдоподии? Вероятно, в первую очередь для питания, так как амеба питается путем фагоцитоза, охватывая добычу псевдоподиями, внутри которых из клеточной мембраны формируется пищевая вакуоль. Ну, и для движения они необходимы.

Дело в том, что само по себе скользящее движение не позволяет произвольно менять направление. Вероятно, поэтому оно сохранилось, в основном, у паразитических протистов, для которых направление движения большого значения не имеет. Проще пассивно двигаться, с токами крови, например. Так что, возможно, для того чтобы «повернуть» в нужном направлении, амебы и формируют псевдоподии.

Что касается жгутиков и ресничек, то по строению они очень похожи, так как в его основе — осевая структура из сократимых микротрубочек из белка тубулина, которых в норме имеется центральная пара и девять периферических пар. Эта особенность универсальна для всех эукариотных организмов, что свидетельствует об их родстве.

Жгутики и реснички одеты мембраной и имеют базальные тельца, от которых отходят различные дополнительные структуры.

Из-за сходства общего строения и механизма сокращения реснички и жгутика специалисты, изучающие движение простейших, даже называют их общим термином — ундулиподия. Различия сводятся к тому, что работают реснички и жгутики по-разному, соответственно, у них отличаются некоторые детали строения.

В главе об эвглене уже упоминалось, что жгутик способен к самым разнообразным движениям, даже у одного вида протистов. А реснички, наоборот, способны только к тому, чтобы сгибаться, а потом разгибаться в одной плоскости. Такое движение называется гребной удар. При этом реснички, которые расположены в один ряд (такой ряд называют кинетой), сокращаются (наклоняются) по очереди, одна за другой. И разгибаться они начинают по очереди. В результате, если смотреть на живую инфузорию, видно, как по ее поверхности проходят волны сокращений ресничек, похожие на волны из наклоняющихся стеблей, которые под действием ветра возникают на пшеничном поле. Такие согласованные ресничные сокращения так и называются — метахрональные (т. е. последовательные, со сдвигом во времени) волны. А смена направления или характера движения обеспечивается тем, что направление гребного удара меняется на противоположное или «включаются» отдельные ресничные поля, где реснички расположены по-разному. Таких ресничных полей на теле инфузорий обычно несколько.

Покровы тела

Снаружи клетка простейших окружена трехслойной мембраной. Мембрана защищает содержимое клетки от внешних воздействий, через нее же осуществляется взаимодействие организма с внешней средой.

Поверх клеточной мембраны расположен слой, который называется гликокаликс. На первый взгляд, этот тонкий слой углеводов не представляется важным. Как бы не так! В этот слой могут встраиваться различные молекулы: в результате протисты способны распознавать вещества, чтобы избегать или, наоборот, находить их (если они съедобны), чтобы узнавать особей своего вида и находить жертву — для хищников, или хозяина — для паразитов (о том, как простейшие это делают, особый рассказ). В этом же слое могут накапливаться различные растворенные вещества из окружающей среды, которые затем проникают в клетку путем пиноцитоза. Так питаются протисты, у которых нет рта. Так что все у простейших организовано очень экономно — даже простые структуры выполняют много сложных функций.

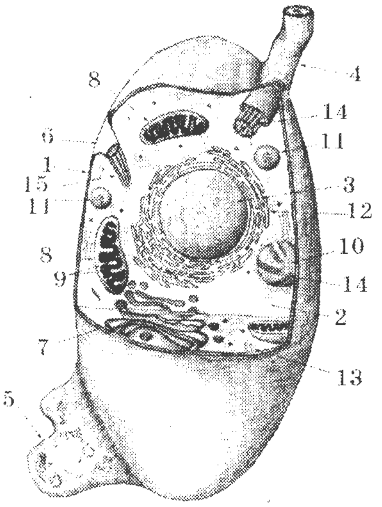
Но этим внешние структуры протистов не ограничиваются. У многих простейших имеются какие-либо скелетные образования, которые служат для защиты организма от внешних воздействий (механических, химических, нападения хищников), а также выполняют роль твердых опорных структур.

Скелет простейших бывает органическим и неорганическим (минеральным).

Наиболее распространен наружный скелет из комплекса белка с углеводородами (гликопротеина), который называют псевдохитин, или тектин. Из тектина состоят раковины некоторых инфузорий. У некоторых протистов имеется наружный скелет, образованный не тектином, а мукополисахаридами. У жгутиконосцев динофлагеллат имеется оболочка из клетчатки. Кроме того, целлюлозоподобные вещества — гемицеллюлозы — входят в состав наружного скелета инфузорий, обитающих в кишечнике копытных животных.

Неорганический скелет обычно представляет собой минеральные отложения на поверхности органического скелета. Чаще всего эти отложения состоят из кремнезема (SiO_2) или углекислого кальция ($CaCO_3$). Из кремнезема состоят ажурные внутренние скелеты большинства радиолярий и наружные скелеты солнечников. Из углекислого кальция образуются раковины фораминифер и кокколитофорин. Однако у фораминифер раковины также содержат кремнезем, сернокислый магний и другие примеси. У гигантских глубоководных простейших — ксенофиофорей — в скелетных оболочках содержится барий.

К особой разновидности наружного скелета относятся цисты, химический состав и структура которых часто идентичны «настоящим» скелетам. Известны цисты из тектина, мукополисахаридов,



Строение клетки простейших. Схема составлена из органелл разных протистов — амеб, жгутиковых, инфузорий. 1. Плазмаллема. 2. Цитоплазма. 3. Ядро. 4. Ундулиподия (жгутик). 5. Псевдоподия. 6. Клеточный рот (цитостом). 7. Комплекс Гольджи. 8. Митохондрия. 9. Кристы (пластинчатые). 10. Сократительная вакуоль. 11. Пищеварительная вакуоль. 12. Эндоплазматическая сеть. 13. Экструсомы. 14. Микротрубочки. 15. Микрофиламенты (рисунок Анастасии Волгиной)

в стенках цист находили целлюлозу, кремнезем или силикатные пластинки. Отличия сводятся к тому, что цисты — это не постоянные, а временные образования, которые появляются только на период размножения, расселения или неблагоприятных условий внешней среды. Особенно часто способность к инцистированию демонстрируют почвенные и паразитические простейшие.

Органеллы защиты и нападения

Под наружной мембраной многих протистов находятся специальные органеллы, которые называются экструсомы. Это — окруженные мембраной структуры, которые под воздействием внешнего раздражения выбрасывают свое содержимое наружу. В настоящее время известно более десяти разновидностей экструсом, которые имеются у разных видов жгутиконосцев, саркодовых, инфузорий. Называются они по-разному: трихоцисты, токсициты и т. п., а служат для отражения нападения хищников или, наоборот, ловли добычи, а также принимают участие в постройке цист.

Например, когда инфузория-туфелька проплывает мимо хищной инфузории — дидиниума, хищник, прикоснувшись передним концом тела к поверхности тела туфельки, выстреливает особые экструсомы-токсицисты, содержащие токсины. Бедная жертва оказывается и прочно прикрепленной к телу хищника, и парализованной, после чего поедается. Но если защитная система парамеции (экструсомы, именуемые трихоцисты) сработает раньше, у нее есть шанс избежать гибели и удрать от дидиниума.

Автору приходилось наблюдать охоту хищных сидячих инфузорий — сукторий. Инфузория-туфелька, которая натыкалась на ловчие щупальца суктории (тоже вооруженные токсицистами), начинала активно вращаться, а вокруг ее клетки появлялся слабо различимый ореол из выстреленных трихоцист. Если щупалец хищника, которые захватили жертву, было не более одного-трех (а их у суктории несколько десятков), туфельке обычно удавалось оторваться и уплыть. Инфузории обладают способностью к регенерации, поэтому полученные таким образом «травмы» быстро «залечивались».

Экструсомы другого типа — мукоцисты — имеются, например, у почвенных инфузорий. При неблагоприятных условиях слизистое содержимое мукоцист выделяется на поверхность клетки, в результате чего инфузория оказывается внутри слизистой цисты.

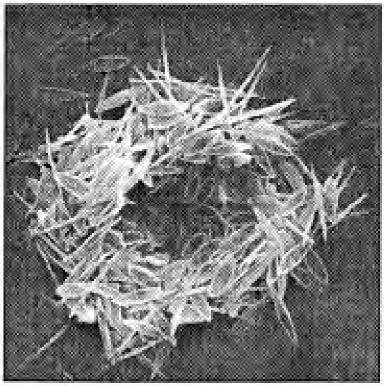
Цитоплазма и внутренние органеллы

Под наружными структурами в клетке протистов расположена цитоплазма с обычным для эукариотной клетки набором органелл (митохондриями, комплексом Гольджи, ядром, лизосомами, эндоплазматической сетью). Но есть и дополнительные органеллы, обеспечивающие функционирование клетки как отдельного организма.

Мы уже упоминали, что клетка протистов содержит митохондрии. Кто помнит школьную программу, знает, что митохондрии — это округлые тельца, имеющие наружную мембрану, которая состоит из двух слоёв. От внутреннего слоя в полость митохондрии выступают выпячивания — кристы. Пространство между кристами заполнено веществом, называемым матриксом.

Митохондрии являются местом производства АТФ и за этот счет обеспечивают энергией клеточные органоиды и клетку в целом. Поэтому их еще называют «энергетической фабрикой» клетки.

Те, кто не пропустил предыдущую главу, знают, что митохондрии не у всех протистов



Кремниевый наружный скелет пресноводного солнечника *Polyplacocystis ambigua* (сканирующая электронная микроскопия, микрофото Людмилы Гапоновой)

одинаковы. Но оказывается, они есть не у всех простейших. Митохондрии отсутствуют у анаэробных протистов, т. е. тех, которые не используют кислород для дыхания. Это обитатели донных илов, почвы и паразиты. Какое-то время даже считали, что отсутствие митохондрий — это признак древности или примитивности таких организмов. Но оказалось, что у них есть свои органеллы, которые похожи на митохондрии, но не имеют выростов внутренней мембраны — крист. Эти органеллы называют гидрогеносомами. А у тех анаэробных протистов, у которых нет и гидрогеносом, обнаружили гены, отвечающие за синтез мембран митохондрий. То есть анаэробы когда-то митохондрии имели, но утратили их вторично. А гидрогеносомы сейчас считают рудиментами митохондрий.

Если наблюдать живых простейших, у большинства из них хорошо заметны сократительные вакуоли. Их может быть одна, две (как у инфузории-туфельки) или несколько, у некоторых инфузорий до нескольких десятков.

Сократительная вакуоль — это вовсе не простой пузырек с жидкостью, способный сокращаться, как это видно под световым микроскопом. На самом деле, кроме видимого пузырька существует целый комплекс органелл, который так и называется «комплекс сократительной вакуоли». Возле собственно сократительной вакуоли расположено сложнейшее образование из множества пузырьков разного типа или из трубочек. Из-за некоторого сходства с губкой эту структуру назвали спонгиом (от латинского *spongia* — губка). Считается, что жидкость из цитоплазмы накапливается сначала в спонгиоме, из которого направляется в вакуоль. Вакуоль и пора сократительной вакуоли, которая находится на наружной мембране, окружены сложной сетью из микротрубочек, за счет работы которой, вероятно, происходит сокращение вакуоли. Но, как видите, приходится все время делать оговорки: «считают», «вероятно». Дело в том, что механизмы работы многих органелл и их комплексов, в том числе сократительной вакуоли, до сих пор плохо изучены.

Функция сократительных вакуолей — поддержание в клеточном теле протистов оптимальной концентрации солей. Если таковую не поддерживать, клетка, за счет того, что концентрация солей в ней выше, чем в окружающей воде, в какой-то момент может быть просто разорвана внутренним осмотическим давлением. Поэтому сократительные вакуоли всегда есть у пресноводных протистов и далеко не всегда — у морских.

А вот часто приписываемую сократительным вакуолям выделительную функцию они, судя по всему, не выполняют. Откуда взялось и как попало в школьные и, иногда, вузовские учебники это заблуждение, нам неизвестно.

Питание

Непременная особенность живого организма — это питание. Протисты тоже должны питаться, и по способам питания они очень разнообразны.

Во-первых, среди простейших есть автотрофы, которые питаются путем фотосинтеза.

Во-вторых, гетеротрофные простейшие тоже поедают пищу внешне по-разному.

Как знают внимательные читатели учебников, кроме сократительных вакуолей в цитоплазме гетеротрофных простейших находятся вакуоли пищеварительные, причем независимо от того, как эти протисты питаются.

Амебы, как известно, питаются путем фагоцитоза. При этом пища охватывается псевдоподиями со всех сторон, часть мембраны амебы становится стенкой пищеварительной вакуоли. Далее в вакуоль из цитоплазмы поступают пищеварительные ферменты, пища переваривается, а непереваренные остатки выбрасываются из клетки. Мембрана вакуоли при этом разрушается, но ее фрагменты потом используются для построения новых мембран.

Другой способ питания амебы — это пиноцитоз. Происходит он несколько сложнее, чем это описывается в школьном учебнике. На поверхности гликокаликса накапливаются органические вещества, которые растворены в воде. Часть наружной мембраны впячивается, и такие вещества, вместе с небольшим количеством жидкости, оказываются в пищеварительной вакуоли, которая отличается от обычной только крошечными размерами.

Надо сказать, что все разнообразие способов захвата пищи у разных гетеротрофных протистов, по сути, сводится к двум перечисленным вариантам.

Так, у воротничковых жгутиконосцев на верхнем конце клетки имеется воронковидное образование — воротничок. Токи жидкости создаются у них биением жгутика. Подгоняемые этими токами пищевые частицы (бактерии) прилипают к наружной поверхности воротничка. Когда их накапливается достаточное количество, у основания воротничка образуется псевдоподия, между ней и поверхностью клетки образуется углубление. В это углубление с наружной части воротничка попадают пищевые частицы, псевдоподия их как

бы «слизывает», закрывая углубление, которое превращается в пищеварительную вакуоль.

Эвглена зеленая, когда питается как гетеротроф, захватывает пищу путем пиноцитоза.

Инфузории-фильтраторы, такие как инфузория-туфелька, как известно, имеют клеточный рот. Он представляет собой углубление (глотку), а о том, что дальше, учебники умалчивают. Как пишут в компьютерных пособиях — «по умолчанию», получается, что это некий аналог ротового отверстия многоклеточных животных.

На самом деле никаких, как раньше писали анатомы, «естественных отверстий» на клеточном теле инфузорий или других протистов, конечно же, нет. Наоборот, целостность клеточной мембраны является непременным условием жизни клетки-организма.

Соблюдается этот принцип и при питании инфузорий. Глоточная впадина инфузории снабжена специальными ресничками, с помощью которых пища поступает на ее дно. Дно перекрыто мембраной, которая впячивается, превращаясь в пищеварительную вакуоль.

Вакуоль отшнуровывается, в результате основание глотки вновь оказывается перекрытым мембраной. Вакуоль, содержащая пищу инфузории, начинает свой путь по клеточному телу, в это время поступившие в нее пищеварительные ферменты делают свою работу. Переваренная пища поступает в цитоплазму, вакуоль с непереваренными остатками подходит к определенному участку наружной мембраны (который раньше называли «порошица», а сейчас более научно — цитопрокт), где ее содержимое выводится из клетки, а сама вакуоль разрушается, ее фрагменты движутся к глотке, где из них формируется мембрана новой вакуоли.

Иначе происходит питание хищных инфузорий. Уже упомянутый дидиниум имеет на переднем конце тела вырост, который называется «хоботок». На нем расположены экструсомы, кроме того, сам хоботок способен вворачиваться внутрь тела, для чего используется сложная конструкция из микротрубочек. В результате парализованная дидиниумом инфузория вместе с хоботком вворачивается внутрь тела хищника, оказываясь внутри крупной пищеварительной вакуоли.

Хищные инфузории-суктории вместо рта имеют специальные щупальца, а некоторые хищные жгутиконосцы снабжены на переднем конце тела органеллой — коноидом, которая организована сходным со щупальцами сукторий образом. За счет работы микротрубочек щупалец или коноида небольшие фрагменты клетки

жертвы транспортируются в тело хищника, где оказываются в пищеварительных вакуолях. Внешне это выглядит так, будто жертва высасывается хищником. Отсюда, в частности, и название инфузорий — сукторий, т. е. «сосущие».

Вероятно, некоторые инфузории могут питаться и путем пиноцитоза, так как их удается успешно содержать в лабораторной среде, которая не содержит «твердой» пищи, а только набор растворенных в воде аминокислот. Так же питаются паразитические инфузории-астоматы (т. е. безротые), которые обитают в крови хозяев — беспозвоночных животных и амфибий.

Одна из задач, которую должен выполнять организм,— это защита от проникновения в него болезнетворных, а то и вовсе смертельных паразитов. Для простейших таковыми являются внутриклеточные паразиты — протисты, вирусы и бактерии. У многоклеточных организмов эту (защитную) функцию выполняет иммунитет. Оказывается, есть своя иммунная система и у протистов.

Существует несколько путей, которыми паразиты проникают в клетку протистов. Но наиболее распространены из них два — либо паразит проделывает проход в наружной мембране клеточного тела хозяина, либо просто «позволяет» себя проглотить. И в том, и в другом случае «пришелец» окружается мембраной, т. е. оказывается внутри вакуоли.

Обычно это вакуоль пищеварительная, так как удобнее не просто уничтожить агрессора, а переварить его. Но и паразит «не дремлет». Будучи за миллионы лет эволюции адаптированными к такого рода защите, многие внутриклеточные паразиты, такие как микроспоридии или споровики, «научились» вносить собственные изменения в мембрану вакуоли таким образом, что она становится непроницаемой для пищеварительных ферментов клетки-хозяина. В результате вакуоль уже не пищеварительная, а, наоборот, защищает паразита, несет его в себе. Эту вакуоль так и называют — симбиофорная, т. е. несущая симбионта.

Как нам уже известно, в симбиофорных вакуолях находятся не только паразиты, но и полезные или безвредные симбионты протистов.

Ядерный аппарат и размножение

Поскольку протисты — эукариоты, то все они имеют хотя бы одно ядро. Ядра протистов состоят из таких же структурных компонентов, что и ядра клеток многоклеточных,— ядерной оболочки, хроматина, ядрышек, кариоплазмы и различных внутриядерных

включений. Различия касаются разнообразия форм ядер и их числа в одном организме протистов.

Большинство простейших одноядерны. Таковы почти все жгутиконосцы и многие саркодовые. Однако достаточно часто встречаются и многоядерные виды. У многих протистов со сложными жизненными циклами одноядерные стадии чередуются с многоядерными, как это часто бывает у фораминифер.

Подавляющее большинство многоядерных протистов имеют морфологически и функционально одинаковые ядра, хотя их и могут насчитываться сотни (как у жгутиконосцев-опалин, паразитирующих в клоаке или кишечнике земноводных).

Но у инфузорий и некоторых фораминифер ядра различаются по строению и функции. Имеются вегетативное ядро (или ядра) — макронуклеус, отвечающее за функционирование клетки-организма в период между размножениями, и генеративное ядро (их тоже может быть несколько) — микронуклеус, отвечающее за передачу наследственной информации. В таких случаях говорят о ядерном дуализме.

Форма ядер протистов почти так же разнообразна, как форма их клеток. Бывают ядра сферические, конические, лопастные, разветвленные, короновидные, четковидные и т. п. Размеры ядер у простейших также варьируют очень широко — от долей микрометра (у пикопротистов) до 400 микрометров. Самые крупные ядра имеются у некоторых радиолярий — почти полмиллиметра, а у одного (правда крупного) вида ядро даже достигает 1 мм в диаметре.

Кроме обеспечения функционирования клетки-организма, ядро, как мы знаем, обеспечивает хранение и передачу наследственной информации, т. е. одна из его важнейших функций — участие в процессе размножения протистов.

Для размножения простейших характерны два типа процессов. Об одном из них помнят почти все, кто получил среднее образование, — это бесполое размножение путем деления клетки надвое.

Действительно, этот способ размножения наиболее распространен среди простейших. В типичном случае клеточное тело простейших делится на две одинаковые дочерние клетки, этому предшествует период питания и роста. Классический пример — размножение обыкновенной амебы. Очень важно отметить, что разделению двух дочерних клеток всегда предшествует деление ядра. Причем делится ядро путем митоза.

Бесполое размножение протистов имеет множество вариантов. Даже при простом делении надвое существуют различия, например,

в ориентации плоскости деления. Так, у саркодовых определенной плоскости деления нет, у жгутиконосцев деление происходит в продольном направлении, у инфузорий — в поперечном. Кроме того, существуют различные варианты бесполого размножения, такие как шизогония (вспомним возбудителя малярии). Многие инфузории размножаются путем почкования, когда деление неравномерно, — на материнской клетке образуется небольшая дочерняя клетка (почка или бродяжка), которая отделяется и уплывает. В общем, и в этом случае протисты не ограничились каким-либо одним вариантом размножения.

Как-то реже помнят о том, что в жизненный цикл многих протистов включен половой процесс. Возможно, некоторые школьные учителя стесняются затрагивать эту тему.

Половой процесс у простейших в основных своих чертах соответствует процессу оплодотворения многоклеточных организмов. Во время полового процесса образуются гаметы, аналоги половых клеток. Они, как и половые клетки, гаплоидны, т. е. имеют не двойной, а одинарный набор хромосом. Но, в отличие от половых клеток, гаметы простейших представляют собой самостоятельные клетки-организмы. Они могут быть внешне неотличимы от обычных вегетативных стадий, как у некоторых жгутиковых, или отличаться от них, как, например, у малярийного плазмодия.

Образуются гаметы путем мейоза, то есть половой процесс включает образование гамет и их копуляцию. При копуляции гаметы объединяются в одну клетку, и получается уже диплоидный организм.

Особым образом протекает половой процесс у инфузорий — конъюгация. Главным отличием конъюгации от копуляции является то, что при конъюгации не происходит полного слияния двух особей.

Процесс конъюгации сводится к следующему: две клетки сближаются и соединяются друг с другом боковыми сторонами или, реже, передними концами тела. Вегетативное ядро, макронуклеус, разрушается, а микронуклеус делится путем мейоза, в результате чего образуются два гаплоидных ядра. По одному из них остается в каждой клетке (они называются стационарными). Двумя другими (они называются мигрирующими) инфузории обмениваются. Каждое из ядер-мигрантов сливается со стационарным ядром, после чего особи инфузорий отделяются друг от друга. Из образовавшегося в результате диплоидного ядра в каждой особи за счет серии делений (митозов) формируются новые микронуклеус и макронуклеус.

Если внимательно перечитать все написанное, становится понятно, что сексуальные процессы у протистов обычно не сопровождаются увеличением числа особей, т. е. собственно размножением. Увеличивают свою численность они путем разных форм бесполого размножения. Поэтому специалисты обычно избегают употреблять по отношению к этим организмам понятие «половое размножение», а говорят вместо этого о половом процессе.

Ориентация

В главе о видах «из учебника» и в этой главе мы уже ознакомились в общих чертах с тем, как клетка-организм протистов движется, размножается, питается. Осталось выяснить, как простейшие, оставаясь на клеточном уровне организации, умудряются ориентироваться в окружающем их мире и узнают себе подобных.

Простейшие не обладают рефлексами. Это понятно, Гелеи и Горват ведь не нашли рефлекторной дуги даже у «сложных» инфузорий. А реакции не обладающих рефлексами организмов на внешние раздражения принято называть таксисами.

Действующие факторы, вызывающие те или иные таксисы простейших, имеют различный характер — они могут быть химическими, механическими, термическими, световыми, электрическими. В зависимости от характера фактора различают и таксисы — хемотаксис, фототаксис, термотаксис, гальванотаксис и т. п.

Проявляются таксисы как движение клетки того или иного вида протистов по направлению к источнику раздражения или от него. Если протист движется к источнику, таксис называют положительным, если наоборот — отрицательным.

Реакция на свет называется фототаксисом. Для многих гетеротрофных простейших характерен отрицательный фототаксис. Более того, у амеб свет вызывает шоковую реакцию. При внезапном освещении они останавливаются. Состояние шока проходит при помещении амебы в темноту.

Как читатели наверняка сами догадались, фототаксис у автотрофных протистов положительный. В отличие от амеб, у эвглен шок наблюдается при резком ослаблении освещения.

У автотрофных жгутиковых имеются специальные органеллы, которые обеспечивают функцию фототаксиса. Долгое время считали, что эту функцию выполняет особая, окрашенная обычно в желто-оранжевый цвет структура — стигма, или «глазок». Эти устаревшие сведения упорно продолжают тиражировать в учебниках.

Однако еще в начале XX века специалисты обнаружили, что многие жгутиконосцы, у которых стигма отсутствует, вполне успешно ориентируются по направлению к источнику света. Но как?

Поисками ответов на этот вопрос протистологи занимаются уже более 150 лет. Полагали, что светочувствительностью обладает основание жгутика. Позднее установили, что чувствительностью к свету, вероятно, обладает внутренний участок клеточной мембраны, причем и у автотрофных и у гетеротрофных простейших.

У жгутиконосцев фоторецептор — это участок мембраны, который находится возле основания жгутика. Все простейшие, в том числе жгутиковые, при плавании вращаются вокруг продольной оси тела, т. е. к источнику света клетка поочередно повернута то стороной тела с фоторецептором, то без него. Соответственно, лучи света попадают то прямо на рецептор, то сначала проходят сквозь всю клетку и, соответственно, ослабляются. В результате на рецептор поступает световой сигнал переменной интенсивности. По сигналу фоторецептора жгутик (или жгутики, если их несколько) начинает работать тем интенсивнее, чем выше интенсивность света. В результате клеточное тело жгутиконосца при каждом повышении интенсивности светового сигнала поворачивается на определенный угол по направлению к источнику света и одновременно быстрее движется вперед и быстрее вращается. Частота изменений интенсивности света возрастает, что еще более усиливает сигнал на рецептор. И жгутиконосец с максимально возможной скоростью движется к источнику энергии.

Но зачем тогда стигма? И как она устроена, если это не пузырек со светочувствительным пигментом, как считали ранее?

Как показала электронная микроскопия, стигма — это чаще всего часть хлоропласта, содержащая пигменты. У некоторых жгутиковых стигма усилена дополнительными светопреломляющими структурами, так что внешне иногда даже напоминает глаз примитивных многоклеточных животных.

Как показали украинские ученые Н. П. Масюк, Ю. И. Посудин и Г. Г. Лилицкая, стигма работает не как рецептор, а как рефлектор, отражающий свет, и как дифракционная решетка, меняющая его характеристику. Если лучи света попадают на ту сторону клеточного тела жгутиконосца, на которой находится стигма, то участок мембраны, который является фоторецептором, получает сигнал, равный сумме интенсивностей падающего света и света, отраженного стигмой. Если освещается противоположная от стигмы

сторона клетки, фоторецептор получает сигнал, который, наоборот, ослаблен за счет прохождения света через клетку, а также за счет его отражения стигмой. То есть при наличии стигмы происходят значительно более сильные изменения интенсивности светового сигнала, который поступает на рецептор, чем при ее отсутствии. Стигма организует световой сигнал, или, как говорят физики, его модулирует, что способствует более эффективной фотоориентации протистов.

Реакция протистов на температуру называется термотаксисом. В экспериментах простейших (например, инфузорий) помещали в продолговатый сосуд, который подогревался таким образом, чтобы вдоль него повышалась температура. В результате инфузории собирались ближе к середине сосуда, там, где температура воды, вероятно, была для них оптимальной. Интересно, что если культуру инфузорий содержать, постепенно повышая или, наоборот, понижая температуру, они могут адаптироваться к температуре, которая ранее была для них непригодна или даже смертельна. Если культуру таких инфузорий опять проверить на термотаксис, окажется, что зона оптимума у них тоже смещается в область более высоких или более низких температур.

Реакция на прикосновение — тигмотаксис — у простейших обычно отрицательная. При прикосновении к переднему (в данный момент движения) концу тела ползущей амебы происходит втягивание псевдоподии, к заднему — ускорение движения.

У инфузорий эта реакция сложнее. У многих из них на переднем или заднем конце тела имеются особые чувствительные реснички, называемые тигмотактильные. Такие инфузории предпочитают не плавать, а временно или постоянно прикрепляться к субстрату. Поэтому тигмотаксис у них положительный, с его помощью они выбирают подходящий для себя субстрат.

Поскольку протисты являются обитателями жидкости, то есть у них и реакция на движение воды — реотаксис. Многие инфузории и амебы при помещении их в поток воды с постоянным направлением ориентируются против течения, демонстрируя положительный реотаксис. Это используют изобретательные протистологи, если им нужно остановить, чтобы изучить живьем, быстро плавающих простейших. Достаточно подобрать скорость потока, равную скорости плавания какой-нибудь инфузории,— и упрямый протист будет упорно плыть против течения, оставаясь при этом на месте — под объективом микроскопа.

Многие жгутиконосцы и инфузории реагируют на земное притяжение (геотаксис). Обычно геотаксис отрицателен — простейшие

концентрируются в верхней части сосуда с культурой. Пожалуй, первыми эту особенность начали использовать аквариумисты, чтобы оценить состояние культуры инфузорий-туфелек, которыми они подкармливают мальков рыб. Если инфузориям «плохо», они держатся вблизи дна, если «хорошо» — вверху банки с культурой.

Потом оказалось, что эта особенность очень удобна при изучении влияния невесомости на живые организмы. За способность к геотаксису несколько видов инфузорий были удостоены полета в космос.

Реакция на постоянный электрический ток называется гальванотаксисом. Чаще всего в этой связи упоминаются парамеции. Если к культуре с «туфельками» подвести постоянный ток невысокого напряжения — они направляются к отрицательному полюсу — катоду. Делают они это, впрочем, «не сознательно». Просто постоянный ток приводит к биению ресничек в одном направлении. Однако другие виды инфузорий и жгутиковые плывут по направлению к аноду, есть и такие упрямцы, которые движутся поперек силовых линий электромагнитного поля.

Но самым важным в жизни протистов является хемотаксис. Влияние химических факторов на все стороны жизни простейших огромно и его проявления чрезвычайно разнообразны.

У амеб контакт каких-либо веществ с поверхностью клетки вызывает втягивание псевдоподий и изменение направления движения. Отрицательный хемотаксис наблюдается у этих протистов по отношению к слабым щелочам и кислотам, сахару, дистиллированной воде.

Некоторые вещества (кислоты, щелочи) и токсичные вещества у инфузорий тоже вызывают отрицательный таксис, который еще называют реакцией избегания и используют в биотестировании. Однако слабокислые растворы вызывают у некоторых инфузорий, например туфелек, положительный хемотаксис.

Хемотаксис играет решающую роль в отыскании и выборе пищи простейшими, половом процессе, расселении.

В замечательно интересном научно-популярном фильме студии «Киевнаучфильм» «Язык животных» есть кадры с хаотично плавающими инфузориями. При этом диктор сообщает, что на этом уровне организации животные еще никак между собой не общаются. К сожалению, среди консультантов фильма не было специалиста по инфузориям, так как в 60–70-е годы XX столетия, когда этот фильм снимался, ученые уже располагали первыми сведениями о том, как простейшие «общаются» между собой.

Дело в том, что в жизни протистов есть моменты, когда необходимо распознавать себе подобных. В первую очередь это связано с размножением этих организмов, чаще всего — с половым процессом. Например, для родственников эвглены — жгутиковых или малярийного плазмодия — это копуляция, когда две гаплоидных клетки-гаметы сливаются, для инфузорий — конъюгация. Но для того чтобы слиться или объединиться в пару, надо, как минимум, найти особь своего вида и обменяться с ней какими-то сигналами.

У тех протистов, которые размножаются только бесполым путем, как амеба, тоже есть случаи, когда несколько особей одного вида собираются вместе и объединяются в одну клетку или просто очень плотно примыкают друг к другу. Точно неизвестно, зачем они это делают, предполагают, что для того, чтобы совместно съесть слишком крупную добычу. Как вы уже знаете, объединяются в один плазмодий и одиночные клетки некоторых слизевиков. Во всяком случае, понятно, что и амебам и слизевикам необходима для этого сигнальная система.

Некоторые инфузории зимуют, собираясь на дне водоемов в крупные (5–8 мм диаметром) шарообразные скопления. Такие «шаровые скопления» насчитывают сотни тысяч особей. Конечно же, инфузории собираются в такие группы не случайно.

Интереснейшая проблема распознавания простейших уже давно и успешно разрабатывается специалистами по разным группам, но больше всего информации получено для инфузорий.

Оказалось, что существуют два механизма, с помощью которых инфузории могут распознавать особи своего вида.

Первый из них основан на выделении клетками инфузорий в окружающую среду особых сигнальных веществ — феромонов. Например, попав в благоприятные условия, с избытком пищи, инфузория начинает выделять в окружающую среду феромон, который привлекает другие особи того же вида. Эти инфузории тоже начинают синтезировать феромон. Чем больше инфузорий скапливается в этом месте, тем выше концентрация феромона и тем больше особей своего вида привлекается. Такие сигнальные вещества называют феромонами агрегации. Во многом за счет таких процессов простейшие не равномерно распределены по толще воды в водоеме, а собираются в группы в пределах микробиотопов или «микроаквариумов», о которых речь шла раньше.

Аналогичным образом особь инфузории, которая физиологически готова к половому процессу, выделяет в окружающую среду феромон, привлекающий такую же готовую к спариванию

особь своего вида. Эти вещества так и называются — феромоны спаривания.

Но при копуляции или конъюгации мало «организовать» скопление «своих». Надо еще и наладить надежное распознавание особей своего вида. Для этого дистанционного механизма на базе феромонов уже недостаточно.

Как оказалось, на клеточной мембране протистов имеются особые участки с молекулами двух типов. При контакте между клеточными телами эти пары молекул взаимодействуют по принципу «ключ — замок». Если молекулы подходят друг к другу, они образуют комплекс, генерирующий сигнал «свои», который запускает процесс конъюгации или копуляции. Если взаимодействия молекул нет — ничего не происходит.

Оказывается, таким же образом хищные инфузории узнают особей своего вида, которых не поедают. Такие мембранные комплексы молекул, или маркеры, называют антиканнибалитами.

Так что протисты успешно разработали систему распознавания «свой — чужой» задолго до того, как ее внедрили в боевой авиации.

Но существуют и механизмы распознавания чужеродного белка или каких-то веществ, которые могут быть вредны или полезны для протистов.

Как было показано на примере инфузорий, они способны включать в гликокаликс молекулы новых для них веществ и передавать информацию в виде этих молекул от материнских особей к дочерним в течение нескольких десятков бесполых поколений. То есть такой механизм работает как своеобразная «память» клеток.

Пока нечто подобное обнаружили только у одного вида инфузорий, который хорошо живет в культуре. В культуру с такими инфузориями добавляли инсулин, и через некоторое время эти инфузории могли реагировать на наличие в среде инсулина в очень низких концентрациях. Что интересно, «помнили» они про инсулин, только если не вступали в конъюгацию. После конъюгации, когда геном последующих поколений был уже изменен, инфузории «теряли память». При бесполом размножении «память», наоборот, тиражировалась.

Ни о чем не напоминает? Распознавание по принципу «ключ — замок», образование молекулярных комплексов с чужеродными веществами (белками), которые тиражируются... Ну, конечно, иммунную систему многоклеточных животных и человека, образование антител. Вот, оказывается, кто все это «придумал» в процессе

эволюции! В результате многоклеточным потомкам протистов ничего принципиально нового изобретать не пришлось.

Естественно, что изучению этой стороны жизни протистов уделяется много внимания. Например, в колониях вольвокса процессы размножения регулируются и с помощью феромонов, и с помощью мембранных комплексов. А вольвокс, в колонии которого есть специализированные, не способные к делению, клетки и клетки, обеспечивающие размножение, уже сто лет является классической моделью того, как одноклеточные организмы стали многоклеточными.

Но это уже другая история.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В этой книге автор ни в коем случае не стремился показать, что термин «простейшие» является неудачным. Он, как вы могли прочесть и в этой книге, появился вскоре после клеточной теории, т. е. тогда, когда наши знания об этих организмах были еще очень незначительны. Такова судьба многих научных терминов. Например, то, что увидел Роберт Гук на срезе пробки, и то, что сейчас вкладывается в понятие «клетка», тоже отличается радикально. Наука развивается, и процесс этот бесконечен.

Автору хотелось показать, что современные протисты на самом деле достаточно сложно организованы, способны на довольно непростые поведенческие и двигательные реакции, а их клеточные структуры (органеллы) и сложные реакции образовались в результате миллиардов лет эволюции.

Но ни наиболее важные органеллы, ни их функции не были утрачены на пути эволюции. Многоклеточные организмы получили в наследство от своих одноклеточных предков уже достаточно сложно организованные клетки, и дальнейшее развитие шло по пути их специализации. В результате клетки, которые вошли в состав тканей и органов, начали выполнять только отдельные функции из тех, которые выполняли клетки-организмы. Одновременно упрощалось и их стро́ение.

Но «отработаны» различные функции были еще простейшими. Способность к сократимости перешла к мышечным клеткам, ведь работают там те же актин и миозин, что и у многих протистов. Способность к фагоцитозу и распознаванию чужеродного белка, которая была еще у простейших, обеспечивает работу иммунных систем многоклеточных. Способность к раздражимости унаследовали нервные клетки. И такие примеры можно перечислять долго.

В конце-концов следует помнить, что на определенных стадиях развития (яйцеклетки, сперматозоиды) мы все одноклеточны, что подтверждает наше родство с протистами. А ведь куда приятней сознавать, что твои предки не были примитивными!

Конечно, наших знаний пока мало, чтобы в подробностях реконструировать облик наших более отдаленных, чем обезьяны,

предков, особенно одноклеточных. Но уже сейчас данные электронной микроскопии и, особенно, молекулярной генетики нам подсказывают, что это был гетеротрофный организм, снабженный воротничком и единственным жгутиком. Так что, когда мы пройдем достаточно далеко назад по генеалогическому древу человечества, то на этом пути непременно встретим какого-нибудь продвинутого жгутиконосца.

Протисты не просто сложно организованы и на многое способны. Эти способности позволяют им выполнять свою важную роль в функционировании «сверхорганизма» — биосферы. А знакомство с этими необычайно разнообразными существами, и тем более их изучение современными научными методами, позволяет лишний раз убедиться, насколько удивительно в своих проявлениях это явление природы, которое называется простым словом «жизнь».

ЧТО ЕЩЕ ПОЧИТАТЬ

1. *Азимов А.* Краткая история биологии. От алхимии до генетики. — М.: Центрполиграф, 2002.
2. *Алимов А. Ф.* Протисты: Руководство по зоологии. — СПб.: Наука. — Ч. 1. — 2000; Ч. 2. — 2007.
3. *Аллен Р.* Амебоидное движение // Структура и функция клетки / Под ред. Г. М. Франк. — М.: Мир, 1964. — С. 145–158.
4. *Афонькин С. Ю.* Межклеточное самораспознавание у простейших // Итоги науки и техники. — 1991. — Вып. 9. — (Серия «Зоология беспозвоночных»).
5. *Афонькин С. Ю.* Приключения в капле воды: Фантастическая повесть-сказка. — СПб.: Лань, 1995.
6. *Геккель Э.* Красота форм в природе. — СПб.: Просвещение, 1903.
7. *Догель В. А., Полянский Ю. И., Хейсин Е. М.* Общая протозоология. — М.—Л.: Изд-во АН СССР, 1962.
8. *Карпов С. А.* Система простейших: история и современность. — СПб.: Тесса, 2005.
9. *Масюк Н. П., Посудин Ю. И., Лилицкая Г. Г.* Фотодвижение клеток *Dunaliella* Teod. (Dunaliellales, Chlorophyceae, Viridiplantae). — К.: Институт ботаники им. Н. Н. Холодного, Национальный аграрный университет, 2007.
10. *Поль де Крюи.* Охотники за микробами. — М.: Наука, 1987.
11. *Полянский Ю. И.* Тип Простейшие (Protozoa) / Под ред. Л. А. Зенкевич // Жизнь животных: В 6 т. Т. 1. Беспозвоночные. — М.: Просвещение, 1968.
12. *Серавин Л. Н.* Двигательные системы простейших. — Л.: Наука, 1967.
13. *Серавин Л. Н.* Простейшие... что это такое? — Л.: Наука, 1984.
14. *Старобогатов Я. И.* К вопросу о числе царств эукариотных организмов // Систематика простейших и их филогенетические связи с низшими эукариотами: Труды ЗИН АН СССР. — Л.: Наука, 1986. — Т. 144. — С. 4–25.
15. *Хайаши Т.* Как клетки движутся // Живая клетка / Под ред. Г. М. Франк. — М.: Издательство иностранной литературы, 1962. — С. 146–163.

16. *Щербак Г. Й., Царічкова Д. Б.* Зоологія безхребетних. — К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2008.
17. *Fenchel T.* Ecology of Protozoa. Berlin, etc.: Springer Verl., 1987.
18. *Haaxman P. J.* Antony van Leeuwenhoek, de ontdekker der infusorien, 1675–1875. Leiden: S. C. van Doesburgh, 1875.
19. *Haeckel E.* Das Protistenreich. Eine populäre Uebersicht über das Formengebiet der niedersten Lebewesen. Leipzig: Ernst Günther's Verlag, 1878.
20. *Lee J.J., Leedale G.F., Bradbury P.* (eds) The illustrated guide to the Protozoa. Second edition. Vol. 1–2. Lawrence: Society of Protozoologists, 2000.
21. *Sandon H.* Essays on protozoology. London: Hutchinson educational, 1963.

СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

Актин — белок, фибриллярная форма которого образует с миозином сократимый комплекс (актомиозин).

Альвеола — сильно уплощенная вакуоль, система таких вакуолей располагается под плазматической мембраной инфузорий, динофлагеллат и других альвеолат.

Базальное тело — структура в основании реснички или жгутика, с которой часто связана особая система микротрубочек, у жгутиконосцев также называется блефаропластом, а у инфузорий — кинетосомой.

Бесполое размножение — способ увеличения числа особей данного вида без обмена генетическим материалом. У простейших происходит чаще всего путем деления надвое с образованием двух морфологически одинаковых клеток. Кроме того, различают почкование — неравномерное деление, при котором морфологически различаются материнская особь (трофонт) и дочерняя (бродяжка, телотрох, почка); палинтомию — деление надвое, повторяющееся многократно, без промежуточной стадии питания и роста; шизогонию.

Биоиндикация (см. *биомониторинг*).

Биомониторинг — постоянное наблюдение за состоянием экосистем с использованием биологических методов. Различают три основных направления биомониторинга: биоиндикацию — оценку состояния экосистем по составу обитающих в них организмов; биотестирование — метод, основанный на оценке реакций организмов на наличие в среде каких-либо веществ либо изменение их концентрации; экотоксикологию — оценку накопления живыми организмами в процессе их жизнедеятельности токсичных веществ или радиоактивных изотопов.

Биотестирование (см. *биомониторинг*).

Бродяжка — расселительная стадия простейших (чаще всего сидячих). Формируется обычно в результате почкования.

Гамета — гаплоидная клетка (мужская или женская), принимающая участие в половом процессе (копуляции).

Гамонт — клетка, из которой образуются гаметы.

Гель — система, состоящая из дисперсных частиц, находящихся в жидкой среде. Частицы, взаимодействуя, образуют

особую пространственную структуру (сетку), благодаря чему гели обладают некоторыми признаками твердых тел — способностью сохранять форму, пластичностью и т. п. Имеет вид студенистого осадка.

Генеративная клетка — выполняющая связанные с половым процессом функции клетка в плазмодии миксоспоридий.

Гиалиновая шапочка — светлая зона цитоплазмы на переднем конце формирующейся псевдоподии (лобоподии).

Гидрогеносомы — клеточные органеллы, окруженные одной простой мембраной и не имеющие внутренних структур. Имеются у некоторых анаэробных простейших и считаются рудиментами митохондрий.

Жгутик — локомоторная органелла простейших, вытянутая и способная к нескольким типам движения.

Золь — жидкий коллоидный раствор с дисперсными частицами, которые перемещаются независимо друг от друга.

Интерстициаль — биотоп, представляющий собой комплекс полостей в толще песка. В нем обитает богатая видами, специфичная фауна мелких морских организмов, в том числе простейших — мезопсаммон.

Инцистирование — процесс формирования цисты у простейших.

Клон — совокупность особей простейших, полученная в результате бесполого размножения одной особи.

Кокколитофорины — одноклеточные одиночные планктонные хризомонады, имеющие наружную известковую раковину. Последние, вместе с раковинами некоторых других простейших, составляют основу меловых отложений (начиная с триаса).

Колония — совокупность обитающих совместно (колониальных) особей одного вида. У простейших колония — это совокупность соединенных между собой клеток, образовавшихся в результате бесполого размножения одной особи.

Коноид — коническая фибриллярная структура на переднем конце тела споровиков и хищных жгутиковых.

Консументы — организмы, являющиеся в пищевой цепи потребителями органического вещества, т. е. все гетеротрофные организмы.

Конъюгация — половой процесс у инфузорий, при котором временно соединившиеся клетки обмениваются мигрирующими гаплоидными ядрами (пронуклеусами), сливающимися со стационарными пронуклеусами.

Копуляция — половой процесс у простейших, при котором сливаются гаплоидные клетки, образуя диплоидную зиготу.

Кутикула — плотное образование на поверхности клеток животных. У простейших — утолщение фибриллярных структур под наружной мембраной или их усиление пластинками гемицеллюлозы.

Лабиринт — наружная эндоплазматическая сеть, в которой размещается колония лабиринтулид.

Лобоподии (см. *псевдоподии*).

Макрогамета — крупная, часто неподвижная женская гамета.

Макронуклеус — вегетативное ядро простейших, обладающих ядерным дуализмом,— инфузорий и некоторых фораминифер.

Малярия — тяжелое инфекционное заболевание, вызываемое споровиками рода *Plasmodium*.

Мезопсаммон — совокупность организмов (обычно специфичных), обитателей толщи морского песка — интерстициали.

Мембранелла — ряд близко расположенных, но не связанных между собой ресничек, функционирующих как одна структура. Служит для направления потока воды, содержащего пищевые частицы, ко рту.

Мембранные детерминанты — особые комплексы молекул на наружной мембране клетки простейших, взаимодействующие по типу «рецептор-индуктор», с помощью которых происходит распознавание потенциальных жертв, особей своего вида (антиканнибалиты), и партнеров для спаривания.

Мерцательное движение — обобщенный термин для обозначения физиологически очень сходных ресничного и жгутикового движения.

Мерцательные поля — различающиеся по своим функциям участки ресничного аппарата инфузорий.

Метаболия (*эвгленоидное движение*) — волнообразное движение краев клетки у некоторых эвгленид.

Метахрональная волна — волна биения ресничек, распространяющаяся вдоль ресничного ряда в результате того, что реснички одного ряда не одновременно, а последовательно проходят одну и ту же фазу движения.

Мигрирующий пронуклеус (см. *пронуклеус*).

Микрогамета — мелкая, обычно подвижная мужская гамета.

Микронуклеус — генеративное ядро у простейших с ядерным дуализмом (у инфузорий и некоторых фораминифер).

Микрофиламенты — нитевидные образования внутри клеток, у простейших обычно объединены в фибриллы.

Миозин — белок, образующий с актином сократимый комплекс — актомиозин. Обладает способностью расщеплять АТФ с освобождением энергии, которая используется при сокращении.

Мионема — сократимый, филаментозный тяж у простейших (в основном, инфузорий).

Модификация — ненаследуемое изменение фенотипа.

Мониторинг — постоянное наблюдение с целью оценки и прогноза состояния окружающей среды.

Морской снег — скопления в морском планктоне, содержащие частички детрита, бактерий, а также протистов.

Общий план строения[1] (см. *ультраструктурное тождество*) — совокупность общих особенностей строения и взаиморасположения основных систем органов (у многоклеточных организмов) или органелл (у одноклеточных организмов), сформировавшаяся в ходе их взаимодействия, обеспечивающего нормальную жизнедеятельность организма как целого.

Оокинета — способная к движению зигота, образованная в результате копуляции гамет споровиков.

Ооциста — прикрепившаяся к стенке кишечника окончательного хозяина и инцистировавшаяся оокинета споровиков.

Оппортунистические инфекции — заболевания, вызванные обитающими в организме человека или животных и в норме обычно непатогенными организмами (в том числе протистами), которые становятся опасными в случаях иммунодефицита, связанного, в частности, с ВИЧ-инфекцией.

Пелликула — плазматическая мембрана с расположенными под ней дополнительными структурами.

Первичная продукция — органические вещества, которые производятся с помощью фото- и хемосинтеза.

Половой процесс — образование гаплоидных половых клеток, которые затем (при копуляции) образуют зиготу. У инфузорий — образование гаплоидных ядер, которыми клетки обмениваются друг с другом при конъюгации.

Почка — расселительная стадия простейших (обычно сидячих), образованная в результате почкования.

Почкование (см. *бесполое размножение*).

Продуценты — автотрофные организмы, производящие первичную продукцию (органические вещества).

---

[1] Определение приводится в формулировке профессора Ярослава Игоревича Старобогатова (1986).

Прокариоты — организмы, в клетке которых нет окруженных мембранными комплексами структур, в том числе не обособлен ядерный аппарат. Генетический аппарат организован в виде особой кольцевой структуры — генофора.

Псевдоподия — временный вырост клетки простейших, обычно выполняющий локомоторную или трофическую функцию. Различают лобоподии — лопастевидные или пальцевидные псевдоподии с закругленными концами, филоподии — нитевидные псевдоподии, аксоподии — относительно постоянные неветвящиеся структуры с осевым комплексом микротрубочек — аксонемой, и ризоподии — ветвящиеся псевдоподии с микротрубочковым осевым скелетом.

Псевдохитин (см. *тектин*).

Реакция избегания — отрицательный таксис у простейших (инфузорий) на наличие токсичных веществ, регистрируемая реакция тест-объекта при биотестировании.

Ресничка — короткая локомоторная органелла инфузорий. В отличие от жгутика, способна только к одной форме движения — гребному удару.

Седиментатор — организм, питающийся путем осаждения взвешенных в воде пищевых частиц. Иногда такие организмы называют фильтраторами, но простейшие (сидячие жгутиконосцы или инфузории-перитрихи и хонотрихи) на самом деле не профильтровывают воду через какие-либо структуры, а направляют ее поток ко рту.

Симбиогенез — гипотеза происхождения эукариотной клетки путем заселения предковой прокариотной клетки различными внутриклеточными (прокариотными) симбионтами.

Стационарный пронуклеус (см. *пронуклеус*).

Стигма — скопление липидных гранул, содержащих каротиноиды. Органелла, участвующая в фоторецепции жгутиконосцев.

Таксис — реакция на внешний раздражитель, проявляющаяся в форме движения клетки.

Тектин (*псевдохитин*) — белок в соединении с углеводородными компонентами (гликопротеин), широко распространенный компонент наружного органического скелета простейших.

Тентакулы — палочковидные выросты цитоплазмы хоанофлагеллат (воротничковых жгутиконосцев), образующие воротничок.

Тигмотактильная цилиатура (см. *цилиатура*).

Токсоплазмоз — опасное заболевание человека, вызываемое споровиком *Toxoplasma gondii*.

Ультраструктурное тождество — сходная схема организации клетки внутри крупных таксонов простейших. Понятие, отождествляемое с общим планом строения.

Ундулиподия — объединяющее название для органелл мерцательного движения — реснички и жгутика.

Уроид — задняя часть клетки двигающейся амебы.

Феромоны агрегации — сигнальные вещества, выделяемые в окружающую среду простейшими (инфузориями) и способствующие образованию скоплений этих организмов.

Феромоны спаривания (*гамоны*) — сигнальные химические вещества, с помощью которых особи комплементарных типов спаривания распознают друг друга, либо вещества, наличие которых в среде служит сигналом для начала копуляции или конъюгации.

Филоподии (см. *псевдоподии*).

Цилиатура — совокупность ресничек у инфузорий. Функционально различают локомоторную (или соматическую) цилиатуру, выполняющую двигательную функцию, околоротовую цилиатуру, обеспечивающую питание.

Цирри — комплексы ресничек, объединенных в плотные пучки (но не слившихся) и функционирующих как единая локомоторная органелла.

Цитопрокт — участок наружной мембраны инфузорий, через который выводятся непереваренные остатки пищи.

Цитостом — клеточный рот, расположен в глубине комплекса околоротовых структур. В этом месте цитоплазма отделена от внешней среды только одной простой мембраной. Здесь же формируются пищеварительные вакуоли.

Цитохалазин — вещество, подавляющее взаимодействие актина и миозина.

Эвгленоидное движение (см. *метаболия*).

Экотоксикология (см. *биомониторинг*).

Экструсома — мембранная органелла, способная в ответ на внешнее раздражение выбрасывать свое содержимое из клетки.

Эукариоты — организмы, в клетках которых имеется ограниченное мембраной ядро. Генетический материал организован в хромосомы. Деление ядер происходит путем митоза или мейоза.

СПИСОК ИЛЛЮСТРАЦИЙ

К главе 1

1. Портрет Антони ван Левенгука (из книги П. Хааксмана «Antony van Leeuwenhoek, de ontdekker der infusorien, 1675–1875» — «Антони ван Левенгук — первооткрыватель инфузорий, 1675–1875») — *с. 8.*
2. Один из «мелкоскопов» Левенгука — *с. 9.*
3. Двухлинзовый «мелкоскоп» Левенгука. С его помощью можно было рассматривать сразу два объекта или зрительно совмещать изображения двух сходных объектов. Сейчас такие сравнительные микроскопы тоже используются, особенно в криминалистике (из книги П. Хааксмана «Antony van Leeuwenhoek, de ontdekker der infusorien, 1675–1875») — *с. 10.*
4. «Мелкоскоп» Левенгука с держателем для стеклянного цилиндра или пробирки. Цилиндр вставлялся в отверстия и закреплялся с помощью двух широких пружин (*r* и *d*). Собственно линза вмонтирована в вертикальную пластину (*g*), а наводка на резкость осуществлялась с помощью винта (*f*) (из книги П. Хааксмана «Antony van Leeuwenhoek, de ontdekker der infusorien, 1675–1875») — *с. 11.*
5. Медаль, отчеканенная в честь Левенгука в Голландии в 1716 году. На лицевой стороне (аверсе) — барельеф Левенгука и надпись «Антони ван Левенгук — действительный член Британского королевского общества». На оборотной стороне (реверсе), на заднем плане — родной город академика Делфт, на переднем плане — пчелиный улей (как символ трудолюбия) и цитата из Вергилия: «Невелик труд, но немалая слава» (из книги П. Хааксмана «Antony van Leeuwenhoek, de ontdekker der infusorien, 1675–1875») — *с. 12.*

К главе 2

6. Опалины — многожгутиковые и многоядерные простейшие, паразиты лягушек. Их название происходит от того, что движение сотен жгутиков создает эффект, похожий на блеск поверхности полудрагоценного камня — опала (фото автора), — *цветная вкладка.*

7. Панцирные жгутиконосцы (динофлагеллаты). Рисунок из альбома Э. Геккеля «Красота форм в природе» — *с. 17.*
8. Скелеты радиолярий. Рисунок из альбома Э. Геккеля «Красота форм в природе» — *с. 19.*
9. Ископаемая фораминифера из отложений мелового периода (фото автора) — ***цветная вкладка.***
10. Ксенофиофорея. Рисунок Э. Геккеля — *с. 20.*

К главе 3

11. Опознать амебу-протея можно только в движении (фото автора) — ***цветная вкладка.***
12. Локомоторная форма моноподиальной амебы. На заднем конце тела виден округлый уроид (фото автора) — ***цветная вкладка.***
13. Слизевики. Рисунок из книги Э. Геккеля «Царство протистов» — *с. 27.*
14. Раковина амебы *Difflugia corona* построена из песчинок (фото автора) — ***цветная вкладка.***
15. Раковина амебы *Euglypha* может иметь тонкие шипы (фото Оксаны Алпатовой) — ***цветная вкладка.***
16. Раковина амебы *Centropyxis* снабжена толстыми шипами (фото Оксаны Алпатовой) — ***цветная вкладка.***
17. Раковинные амебы не так разнообразны, как радиолярии или фораминиферы, но они тоже могут быть причудливой формы, как *Lesquereusia* (фото Оксаны Алпатовой) — ***цветная вкладка.***
18. Раковина амебы *Arcella*, в основном, органическая (фото Оксаны Алпатовой) — ***цветная вкладка.***
19. Еще один представитель «саркод» — солнечник (фото Владимира Гринева) — ***цветная вкладка.***
20. Эвглена (*Euglena spirogyra*) (фото автора). Слева вверху видна оранжевая точка — стигма — ***цветная вкладка.***
21. Эвглена (*Euglena spirogyra*) демонстрирует свою способность к эвгленоидному движению (метаболии) (фото автора) — ***цветная вкладка.***
22. Инфузория-туфелька. Вегетативное ядро (макронуклеус) окрашено специальным красителем (фото автора) — ***цветная вкладка.***
23. Брюхоресничная инфузория *Holosticha*. На переднем и заднем концах ее клеточного тела видны цирри (фото автора) — ***цветная вкладка.***
24. Брюхоресничная инфузория *Urostyla*. У нее цирри видны только на заднем конце тела (фото автора) — ***цветная вкладка.***
25. У инфузории *Euplotes* хорошо видны и цирри, и мембранеллы (фото автора) — ***цветная вкладка.***

26. Импрегнированная серебром инфузория *Haustaniella* чем-то похожа на отпечаток пальца (рисунок В. Фойсснера) — *с. 31*.
27. Хищная сидячая инфузория-суктория *Tokophrya quadripartita*. На четырех выростах верхней поверхности клетки расположены десятки щупалец (фото автора) — *цветная вкладка*.
28. Суктория *Dendrocometes paradoxus* живет на жабрах рачков-бокоплавов, ловит и поедает других инфузорий своими древовидными щупальцами (сканирующая электронная микроскопия) (фото автора) — *с. 32*.
29. Кругоресничная инфузория *Epistylis chrisemides* из очистных сооружений. Колония насчитывает 13 «бубенчиков» (фото Людмилы Константиненко) — *цветная вкладка*.
30. У обитающих на жабрах рачков-бокоплавов инфузорий-хонотрих *Spirochona gemmipara* клеточный рот находится на дне изящной спирально закрученной воронки (фото автора) — *с. 33*.
31. Схема строения инфекционной стадии споровика (по Шолтизеку и Мельхорну) — *с. 38*.
32. Жизненный цикл возбудителя малярии. 1. Копуляция трех микрогамет с одной макрогаметой. 2. Оокинета на наружной стенке кишечника комара. 3. Заполненные плазмодиями слюнные железы комара. 4. Печень человека. Показана разрушенная клетка печени, из которой выходят плазмодии. 5. Эритроцит, в котором растет плазмодий (стадия «кольца»). 6. Шизогония в эритроците — *с. 40*.
33. Мазок крови больного малярией. В пораженных эритроцитах видны многочисленные «зернышки» — плазмодии (фото автора) — *цветная вкладка*.
34. Именно такие «колечки» увидел Лаверан в эритроцитах людей, болеющих малярией (фото автора) — *цветная вкладка*.

К главе 4

35. Страницы из «Системы природы» Линнея с первыми в мире диагнозами простейших — *с. 44*.
36. Эрнст Геккель — *с. 46*.
37. Отто Бючли — *с. 47*.
38. Филогенетическое древо эукариот, построенное на основе данных молекулярной генетики — *с. 51*.

К главе 5

39. Образцы сувениров в виде раковин фораминифер (фото Чжуй Ченг) — *цветная вкладка*.

40. Парк скульптур фораминифер, главная аллея (фото Чжуй Ченг) — *цветная вкладка.*
41. Парк скульптур фораминифер (фото Чжуй Ченг) — *цветная вкладка.*
42. Согласно гипотезе «потока под давлением», зона генерации движения цитоплазмы (показана более жирными стрелками) находится в задней части клетки (фото автора) — *с. 59.*
43. Согласно гипотезе «расширения фронтальной зоны», наоборот, зона генерации движения цитоплазмы (показана более жирными стрелками) находится в передней части клетки (фото автора). — *с. 59.*
44. Строение клетки простейших. Схема составлена из органелл разных протистов — амеб, жгутиковых, инфузорий. 1. Плазмаллема. 2. Цитоплазма. 3. Ядро. 4. Ундулиподия (жгутик). 5. Псевдоподия. 6. Клеточный рот (цитостом). 7. Комплекс Гольджи. 8. Митохондрия. 9. Кристы (пластинчатые). 10. Сократительная вакуоль. 11. Пищеварительная вакуоль. 12. Эндоплазматическая сеть. 13. Экструсомы. 14. Микротрубочки. 15. Микрофиламенты (рисунок Анастасии Волгиной) — *с. 64.*
45. Кремниевый наружный скелет пресноводного солнечника *Polyplacocystis ambigua* (сканирующая электронная микроскопия, микрофото Людмилы Гапоновой) — *с. 65.*
46. Пять особей солнечников объединились, образовав своеобразную ловчую сеть, вероятно, для поимки более крупной, чем они, добычи (фото автора) — *цветная вкладка.*

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие автора 3

Глава 1. Сквозь волшебный прибор Левенгука... 7

Глава 2. Простейшие — «параллельный мир» 13

Глава 3. Старые знакомые 23
Амеба обыкновенная 23
Эвглена зеленая 28
Инфузория-туфелька 30
Малярийный плазмодий 33

Глава 4. В некотором царстве... или в некоторых царствах? . . . 43

Глава 5. Клетка-организм 57
Форма тела 58
Движение 58
Покровы тела 62
Органеллы защиты и нападения 64
Цитоплазма и внутренние органеллы 65
Питание 67
Ядерный аппарат и размножение 69
Ориентация 72

Заключение 79

Что еще почитать 81

Словарь терминов 83

Список иллюстраций 89
К главе 1 89
К главе 2 89
К главе 3 90
К главе 4 91
К главе 5 91

Науково-популярне видання

ДОВГАЛЬ Ігор Васильович

ЦІ НЕПРОСТІ НАЙПРОСТІШІ

(російською мовою)

Головний редактор *К. М. Задорожний*
Редактор *Л. В. Мариненко*
Коректор *О. М. Журенко*
Технічний редактор *О. В. Лєбєдєва*
Комп'ютерне верстання *Є. С. Островський*

Підп. до друку 11.12.2009. Формат 60×90/16. Папір газет.
Гарнітура Шкільна. Друк офсет. Ум. друк. арк. 6,0. Зам. № 9—12/14—05.

ТОВ «Видавнича група "Основа"».
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2911 від 25.07.2007.
Україна, 61001 Харків, вул. Плеханівська, 66.
Тел. (057) 731-96-32. E-mail: bio@osnova.com.ua

Віддруковано з готових плівок ПП «Тріада+»
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1870 від 16.07.2007.
Харків, вул. Киргизька, 19. Тел.: (057) 757-98-16, 757-98-15.

Автор этой книги, доктор биологических наук Игорь Васильевич Довгаль работает в Институте зоологии им. И. И. Шмальгаузена Национальной академии наук Украины (г. Киев). Большую часть своей жизни он посвятил изучению одноклеточных организмов — простейших, в основном инфузорий. Игорь Довгаль является автором более ста научных трудов, посвященных вопросам систематики, фауны, строения, экологии и эволюции простейших, а также нескольких научно-популярных статей. Он много преподает, выступает с популярными лекциями в школах и вузах Украины и за ее пределами. Его опыт преподавателя и популяризатора знаний о простейших и послужил основой для написания книги об этих организмах.

9786170004031